

# 수중기지국 기반 수중통신망을 이용한 해양오염 모니터링 시스템 개발

정 태 건\*, 고 학 림\*, 임 태 호°

## Development of an Ocean Pollution Monitoring System Using the Underwater Base Station-Based Underwater Communication

Tae-Geon Chung\*, Hak-Lim Ko\*, Tae-Ho Im°

### 요 약

최근 수중통신에 대한 연구가 활발히 이루어지면서 수중통신을 활용한 수중 환경센서 데이터를 전송 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 논문에서는 2021년 8월 부산 광안리 해안에서 8월23일에 설치를 시작해 5일간 실험을 진행후, 28일 오전에 실험을 종료하였다. 실험역에서 수집된 수중 오염(방사능센서) 및 수온데이터를 수중 통신을 통해 10분 주기로 측정된 해양오염센서(수중방사선) 및 수온데이터를 해상 부이로 수집후, 해상-육상 통신 모델을 통해 수중통신 데이터를 AWS까지 전송을 통해 74%의 성공률로 전송됨을 확인했으며, 실험역에서 수중-해상-육상 통해 안정적으로 전송이 가능했다. 해양오염, 수온 정보를 안정적으로 육상서버에 다중통신망(LTE Cat.M1, LTE라우터, 위성)을 통해 해상 통신 환경에 따라 최적 스위칭을 통해 육상으로 안정적으로 전송이 가능했으며, 이를 바탕으로 실시간으로 수중오염센서 데이터를 육상의 아마존 Web 서버를 통해 PC와 스마트폰으로 접속하여 실시간으로 데이터를 확인 가능하며, 오염도에 따른 문자 알림서비스가 가능한 수중 모니터링시스템을 구축하였다.

**키워드** : 수중 음향통신, 음향통신, 수중오염감지, 수중 OFDM

**Key Words** : Underwater Acoustic Communication, Acoustic Communication, Underwater Pollution Detection, Underwater OFDM

### ABSTRACT

Recently, as research on underwater communication has been actively conducted, research on a technology for transmitting underwater environmental sensor data using underwater communication is being actively conducted. In this paper, the installation started on August 23rd at the Gwangalli coast in Busan in August 2021, the experiment was conducted for 5 days, and the experiment was finished on the morning of the 28th. After collecting the underwater pollution (radiation sensor) and water temperature data collected in the real sea area, the marine pollution sensor (underwater radiation) and water temperature data measured at 10-minute

\* “본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음”(IITP-2022-2018-0-01417)

※ “이 논문은 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었음 (분산형 수중관측 제어망 개발)”

• First Author : Hoseo University Information and Communication Engineering, a40402@naver.com, 학생회원

° Corresponding Author : Hoseo University Information and Communication Engineering, taehoim@hoseo.edu, 정회원

\* Hoseo University Information and Communication Engineering, hlko@hoseo.edu, 종신회원

논문번호 : 202203-033-C-RE, Received February 28, 2022; Revised April 24, 2022; Accepted May 4, 2022

intervals through underwater communication with a sea buoy, and then underwater through the sea-land communication modem. It was confirmed that the communication data was transmitted with a success rate of 74% by transmitting it to AWS, and it was possible to stably transmit it through underwater, sea, and land in real waters. It was possible to stably transmit marine pollution and water temperature information to the land server through multiple communication networks (LTE Cat.M1, LTE router, satellite) through optimal switching according to the marine communication environment. By connecting the pollution sensor data to a PC and a smartphone through the Amazon Web server on land, the data can be checked in real time, and an underwater monitoring system that can provide text notification service according to the pollution level has been established.

## 1. 서 론

현재 통신 기술은 육상 통신망에서 해상 및 해양 기반 인프라 기반 네트워크로 그 주 무대가 이동하고 있다. 육상의 사물인터넷(IoT) 기반의 연결성에만 중심을 두고 있지만, 사물의 연결 범위는 수중으로 확장되면 새로운 수중 사물인터넷(IoUT)에 초점이 맞춰질 수 있는 것이다. IoUT의 목표는 스마트하고 상호 연결된 수중 기반 기기 및 장비의 전 세계 네트워크를 구축해 바다와 하천 및 호수를 디지털 방식으로 연결하는데 있다<sup>1)</sup>. 스마트 양식 기술 발전을 위한 수중 생태 모니터링, 수중 로봇을 이용한 해저 탐지 및 임무 수행 등 수중에서의 다양한 해양 데이터를 실시간 수집관한 기술이 요구되고 있다. 또한 잠수함 탐지와 식별, 바닷물의 해류·수온·염도·조류·속도 등의 해양 정보를 얻어 국방, 어업, 재난 분야에 활용할 수 있다. 미국과 유럽 등의 국가에서는 수중통신을 활용한 기술이 연구되고 있다<sup>2)</sup>. 수중 통신 방식으로는 무선 주파수(RF), 광학 및 음향을 사용한다<sup>3)</sup>. 본 논문에서는 분산형 수중 관측 제어망은 셀로라 기반 통신 네트워크는 육상서버-해상 부이-수중 기지국-수중 센서노드로 구성된다. 해상부이는 수중 기지국과 수중 음향 통

신을 통해 수중 기지국을 제어하고, 수중 기지국은 자신의 구역에 포함되는 수중 센서노드의 채널 접속을 제어하고, 이 수중 센서노드로 부터 수신한 데이터를 저장하고 처리하며, 처리된 데이터를 송신 장치를 통해 해상 부이로 전달한다. 전달된 데이터는 해상부이에 설치된 육상망(LTE라우터, LTE.CatM1, 위성)을 통해 육상망 스위칭을 통해 최적의 통신환경을 찾아 데이터를 육상서버로 전송한다. 수중 센서노드들의 경우 해상 부이와 통신을 통해 송신된 데이터를 중계하는 역할을 수행이 가능하다. 수중 센서노드들은 수중 기지국을 중심으로 셀을 형성하여 한 구역에서 고정되거나, 여러 구역들로 구성된 수중 센서노드들로 고정되어 설정된 임무를 수중에서 수행하고 관련 데이터를 생성하여 수중기지국-수상부이-수중센서노드를 통해 육상서버로 송신가능하다. 본 논문에서는 full-duplex FDD 방식의 중앙집중형 수중음향통신 네트워크를 가정하고 설계하였으며 하나의 수중기지국과 다수 개의 수중센서노드로 구성된다고 가정한다<sup>4)</sup>.

주파수에 따른 신호 감쇠를 고려하여 그림 2의 각 링크의 최대 커버리지는 그림 2와 같이 DL=5km, UL0=5km, UL1=3km, UL2=2km, UL3=1km로 설정하였다. 상향링크의대역이 하향링크에 비해 많은 이유는 대부분 수중에서 센서를 이용하여 측정된 데이터를 육상으로 전달해야 하는 서비스가 대부분이므로 하향링크는 수중센서노드의 설정 및 제어 정보가 대부분이고 상향링크는 센싱정보이다. 상향링크 UL0의 경우 1km이내에서 고속 통신을 하기 위해서10khz의 대역폭을 특별히 할당하였다.

본 논문에서는 2021년 8월 부산 광안리 해역에서 5

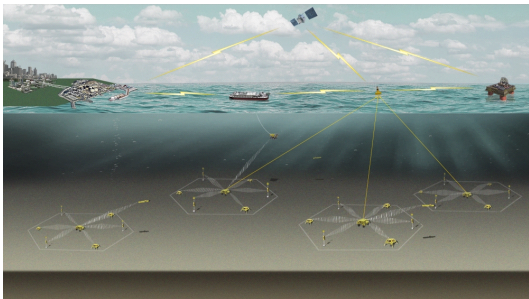


그림 1. 분산형 수중 관측·제어망 개발 구조도  
Fig. 1. Underwater Monitoring and Control Networks in the Structural Perspectives



그림 2. 수중통신 주파수대역 분할  
Fig. 2. Underwater communication frequency band division

일간 실패역에서 수중 기지국에서 음향통신을 통해 수중 센서노드에서 수집된 수중 오염센서 데이터(방사능 오염센서)를 수중기지국을 통함되어 해상 통신에 최적화된 해상-육상다중망(LTE Cat.M1, LTE라우터, 위성)을 해상 통신 환경에 따라 최적 스위칭 통해 해상-육상통신을 통해 육상서버(AWS)에 실시간으로 연동을 할 수 있는 시스템을 구현하였다. 실시간으로 데이터를 육상 아마존 서버와 연계하여 인터넷을 통해 실시간으로 관측이 가능한 시스템을 구현하였다.

## II. OFDM 기반 수중통신 모뎀

### 2.1 수중 OFDM 시스템 구조

수중통신 모뎀의 시스템 구조는 크게 3가지로 구성된다. OFDM 변복조를 수행하기 위한 소프트웨어 플랫폼, 샘플링 레이트 및 주파수를 변환하기 위한 하드웨어 모듈, 시스템 입출력을 위한 AD/DA로 구성되었다. Xilinx사에서 제공하는 Zynq 프로세서는 PS/PL 영역으로 구분되며, PS영역은 ARM 기반의 DSP로 사용될 수 있고, PL 영역은 하드웨어를 자유롭게 재구성이 가능한 FPGA로 사용된다. 본 논문에서는 그림 3에서 같이 PS 영역에 소프트웨어 플랫폼을, PL 영역에 하드웨어 모듈과 AD/DA를 위한직렬 인터페이스로 시스템을 구현하였다. 송신기는 MAC 프로세서에서 전송된 데이터 패킷을 물리계층 프레임으로 변환 후 채널 부호화기 및 인터리빙을 거쳐 OFDM 신호로 변조 후 Zynq AXI 버스를 통해 PL영역으로 전송하게 된다. 수신기는 PL영역에서 기저대역 신호로 변환된 신호가 수신되며, 처음에는 초기 동기화를 수행 후 반송파 주파수 오프셋을 추정하여 보상한다. OFDM 심볼에 전송되는 파일럿 심볼을 활용하여 주파수영역 채널을 추정하고 보상한다. 최종적으로 채널 복호방식으로는 터보코드(Turbo Code),컨벌루션

(Convolutional code)코드 2가지 방식으로 오류 정정을 수행후, MAC 프로세서에 전달하게 된다. MAC에서는 수신된 데이터의 SNR,CIR 등 다양한 통신환경 파라미터를 사용해 통해 모뎀의 송신, 수신 파워 및 통신 파라미터를 결정해주고, 수중통신 환경에 따른 링크적응형 송수신이 가능하도록 해준다<sup>2)</sup>. PL(FPGA) 영역에서는 수중 통신망 중 수중기지제어국과 수중기지국 간 통신을 위한 하드웨어 모듈을 구현하였다. 수중 음향 통신 시스템의 OFDM 변조된 신호를 이용하여, 업 컨버터는 OFDM 변조된 신호를 1 M로 샘플링 레이트를 높이며, 반대로 다운 컨버터는 500 Kbps로 샘플링 된 전송 대역 신호를 베이스밴드 대역 신호로 낮추면서 링크에 따라 5 Kbps 또는 10 Kbps로 샘플링 레이트를 낮추는 것을 확인하였다. 샘플링 레이트 업 컨버터(Sampling rate up converter)는 베이스밴드(Baseband) 신호를 반송 주파수(carrier frequency) 대역으로 올리기 전에 샘플링 레이트를 높여주는 블록으로, Cascaded integrator-comb(CIC) 필터 기반 인터폴레이터(interpolator)와 보상(compensation) 필터, 그리고 하프 밴드(half-band) 필터로 구성된다. 주파수 업 컨버터(frequency up converter)는 베이스밴드 신호를 반송 주파수 대역으로 변환하는 블록이다<sup>5)</sup>.

주파수 업 컨버터(frequency up converter)는 베이스밴드 신호를 반송 주파수 대역으로 변환하는 블록이다. DAC에서 1 Mbps로 데이터를 변환 하므로 반송 주파수 대역의 반송 신호 값을 1 us 간격으로 샘플링 하여, 1/4 주기만 저장하였다.

주파수다운 컨버터(Frequency down converter)는 반송 주파수 대역의 신호를 베이스 밴드 대역으로 변환하는 블록이다. ADC에서 500 Kbps로 데이터를 변환하므로 반송 주파수 대역의 반송 신호 값을 2 us 간격으로 샘플링 하여, 1/4 주기만 저장하였다.

샘플링 레이트 다운 컨버터(Sampling rate down converter)는 베이스 밴드의 데이터 레이트로 샘플링 레이트를 낮추는 블록으로, CIC 필터기반 및 보상 필터, 그리고 하프 밴드 필터로 구성하였다. 송신부의 DAC는 모든 링크의 신호에 대하여 1 Mbps로 샘플링 한다. 수신부의 ADC는 모든 링크의 신호에 대하여 500 Kbps로 샘플링 한다. 구현에 사용된 AD/DA는 아래 표 1과 같이 상용화 보드를 사용하였으며, SPI 인터페이스를 통해 데이터를 얻을 수 있기 때문에 Zynq 보드의 PL 영역에 SPI 인터페이스가 추가되었다.

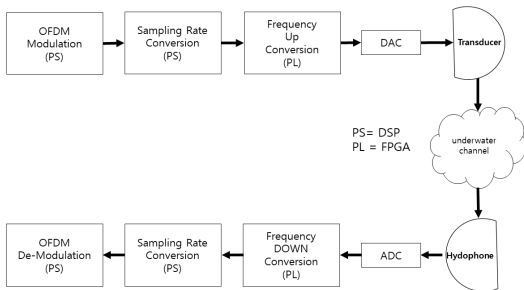


그림 3. 수중통신 모뎀 OFDM 블록도  
Fig. 3. Underwater communication modem OFDM block diagram

표 1. DAC/ADC 성능  
Table 1. DAC/ADC Performance

	DAC (AD5764)	ADC (AD7699)
채널수	4 channel	8 channel
분해능	16 bit	16bit
샘플링	1Mbps	500Kbps
인터페이스	SPI	SPI

### 2.2 사용된 디지털 보드

그림 4는 Trenc사의 TEBF0808(확장보드)을 레퍼런스로 수중통신 시스템 하드웨어를 설계하고 메인 cpu는 Zynq\_UltraScale+를 사용한다. Trenc에서 제공하는 Vivado Reference를 기반으로 FPGA 설계를 진행한다. 개발된 보드의 주요 특징 및 기능을 살펴보면 다음과 같다<sup>9)</sup>.

MPSoC: ZYNQ UltraScale+ ZU9EG 900 pin package Memory

- 64-Bit DDR4, 8 GByte maximum
- Dual SPI boot Flash in parallel, 512 MByte maximum User I/Os
- 65 x PS MIOs, 48 x PL HD GPIOs, 156 x PL HP GPIOs (3 banks)
- Serial transceivers: 4 x GTR + 16 x GTH
- Transceiver clocks inputs and outputs

그림 5는 센서 모뎀 검증용 보드는 다음과 같이 구

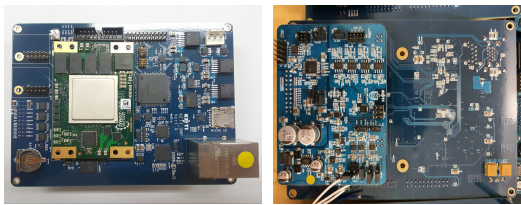


그림 4. 수중기지국 보드 (앞. ZYNQ칩 뒤. DAC/ADC)  
Fig. 4. Underwater base station board front. ZYNQ chip behind. DAC/ADC)

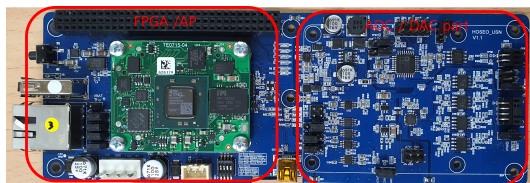


그림 5. 수중센서노드 보드 (좌. ZYNQ칩 우. DAC/ADC)  
Fig. 5. Underwater sensor node board (left. ZYNQ chip right. DAC/ADC)

성된다. 센서 모뎀 검증 보드는 ADC/DAC를 내장하고 있으며, AMP와 연결된다. 센서 모뎀 검증 보드의 메인 모듈은 Zynq와 하드웨어 로직을 포함한 Trenc사의 TE0715 모듈을 사용한다. 센서 모뎀 검증 보드에는 32비트 내장 AP를 지니고 있으나, 모뎀SW를 구동하기에 성능이 부족하면 외부에 AP를 추가로 결합할 수 있는 확장성을 제공한다. 모듈 블록은 TE0715 모듈을 장착할 수 있는 캐리어 블록으로 구성되며, 모듈의 I/O 포트 및 펌웨어 프로그래밍을 위한 JTAG 포트를 제어하기 위한 CPLD로 구성된다. 수중센서 송신부는 최대 송신 출력이 40 Vpp이므로 수신대역 허용 입력 전력을 -130 dBV를 만족할 수 있도록 해야 한다. 또한, 고출력 증폭기에 의해 발생하는 수신 주파수 대역의 잡음 전력에 의한 수신 성능이 저하되지 않도록 주파수 필터의 기능을 포함한다.

### III. 실험역 실험

본 논문에서 제안하는 시스템은 그림 6과 같이 해상부와 수중기지국 1대가 서로 통신하고, 수중기지국 1대가 센서노드 1대와 서로 통신한다. 각 센서노드에는 수온 측정을 위한 환경오염센서 외CTD센서가 장착되어있으며 해상환경데이터를 수집하여 해당 수중기지국에 송신하고, 수중기지국에서는 데이터를 종합하여 해상부으로 전송 한다. 해상부에서는 육상통신을 이용하여 AWS(Amazon Web Server)에서 데이터를 확인할 수 있다. 그림 6의 해상부이는 해수면에 설치하였으며, 기지국을 중심으로 센서노드를 수중에 설치하였다.

그림 7은 2021년 8월 23일부터 27일까지 부산광역시 광안리 해역에서 진행된 실험역 포인트를 나타낸다. 사용된 수중통신용 모뎀이다. 아래쪽에는 수중 송신용 이날로그 보드가 장착 되어있으며, 이날로그보

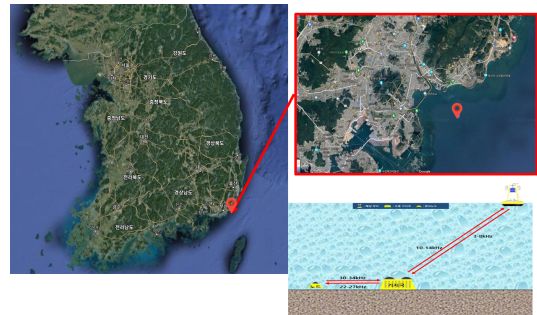


그림 6. 부산 실험역 실험 지역 및 실험 방법  
Fig. 6. Real sea area and test method

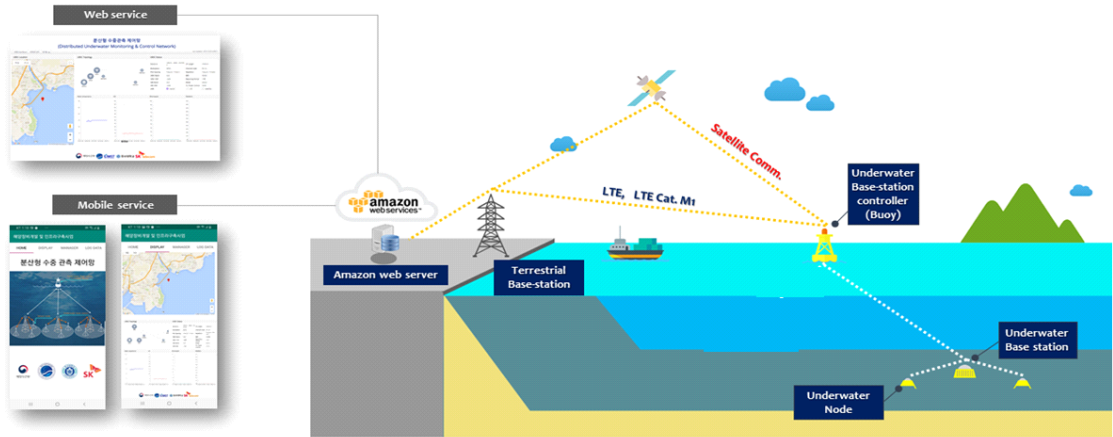


그림 7. 부산 실향역 실험 구조도  
Fig. 7. Structural diagram of the Busan Silhae region experiment

드에는 AMP, 필터기능이 있는 아날로그 보드이다. 위 쪽에는 디지털보드가 장착되어 보드에서 신호를 생성해 아날로그보드를 전송 된다. 소형 센서노드로 센서노드를 소형화시켜 송수신이 가능한 센서노드 통신모뎀이다.

그림 9는 수중기지국기구, 센서노드 위쪽에 수중통신용 센서인 송신용 트랜스듀서, 수신용 하이드로폰이 장착되어있으며, 내부에는 통신시스템과 배터리가 장

착되어있다.

위의 그림 10은 센서노드에는 CTD, DO 해양 오염 센서(방사능센서)가 장착되며, 25A 배터리가 내장된 배터리 하우징과 전원 보드, 센서노드 모뎀이 장착된 모뎀 하우징이 지그에 장착된다. 크레인을 통하여 수중기지국 및 센서노드를 해저면 까지 내린 뒤, 송수신 센서를 통해서 송수신을 수행하게 된다. 센서노드의 경우 위쪽에 환경센서와 수중 통신용 송수신 센서가 장착되었다. 수중기지국에는 송수신용 통신센서가 위쪽에 장착되어있다.

그림 11의 좌측사진의 경우 해상부이(수중통신 모뎀, 육상 모뎀)사진이며, 우측사진은 해상부이 설치 작업사진이다. 해상부이에는 55A 배터리가 내장된 배터리를 50w 솔라패널로 충전되며, 수중하우징에는 보드, 수신 모뎀이 장착된 모뎀 하우징이 지그에 장착된다. 해상부이 위쪽에는 해상-육상 스위칭 모뎀을 해상부이 장착한했다. 해상부이 아래쪽에는 수중-해상부이 모뎀이 장착되어 수중에서 수집된 데이터를 RS232시리얼 통신으로 해상부이 위쪽에 모뎀 하우징에 해상-

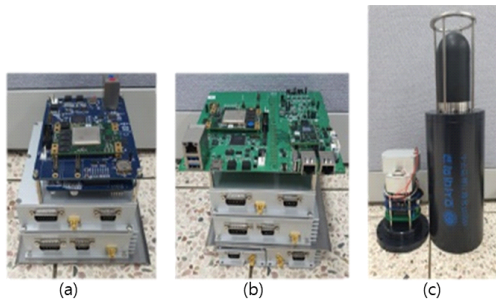


그림 8. 수중통신 모뎀 (a:해상부이, b:수중기지국, c:센서노드)  
Fig. 8. Underwater communication modem (a: marine buoy, b: underwater base station, c: sensor node)



그림 9. 수중구조물 (좌. 센서노드, 우. 수중기지국)  
Fig. 9. Underwater structure (L. Sensor node, R. Underwater base station)

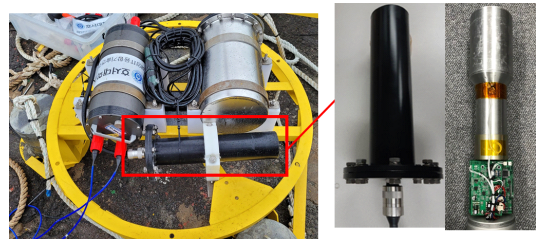


그림 10. 수중 센서노드 구조물 (해양 오염센서)  
Fig. 10. Underwater sensor node structure (marine pollution sensor)

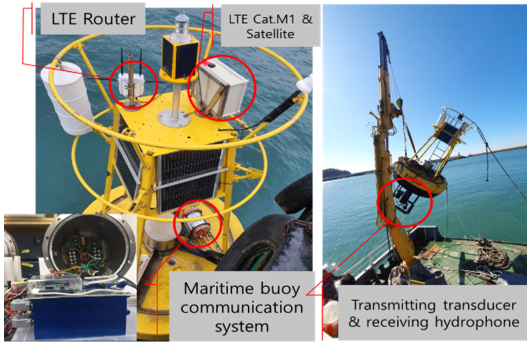


그림 11. 해상부이 및 해상부이 설치 작업  
Fig. 11. marine buoy and offshore buoy installation work

육상 스위칭모뎀으로 전송하게 된다. 해상부에 설치된 육상 통신망 스위칭 시스템은 그림 13에서 같이 해상-육상간 스위칭 모뎀에서 LTE Cat.M1과 위성으로 시리얼 통신을 통해 수중데이터를 전송한다. LTE라우터의 경우 이더넷통신(UDP)을 통해 데이터를 전송하는 방식으로 육상 스위칭 모뎀에 구현되어 있다.

초기에는 LTE Cat.M1을 선택해서 통신을 진행하며, 통신환경에 따라 LTE라우터와 위성통신망을 사용

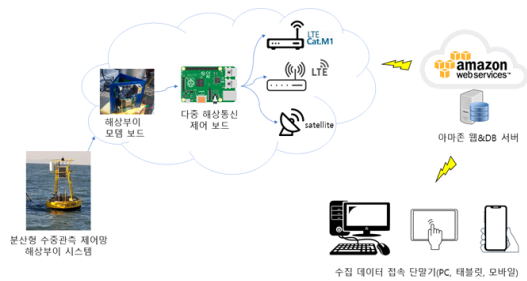


그림 12. 수중-육상 스위칭 모뎀 시스템 구조도  
Fig. 12. Schematic diagram of underwater-land switching modem system



그림 13. 수중-육상 스위칭 모뎀  
Fig. 13. Underwater-Land Switching Modem

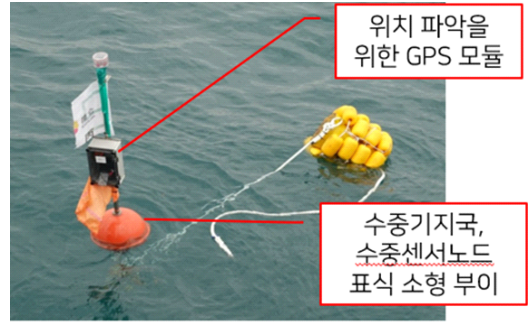


그림 14. 위치표시 부이 장비  
Fig. 14. positioning buoy equipment



그림 15. 크레인을 사용한 부이,수중 기지국,센서노드 설치 작업  
Fig. 15. Buoy, underwater base station, and sensor node installation work using a crane

한다. 최적의 육상통신 방식을 사용하기 위해 3가지 방식의 모뎀의 각각의 통신환경에 따라 LTE Cat.M1, LTE라우터, 위성 중 통신환경이 좋은 통신모뎀으로 스위칭 되어 육상으로 수중환경 데이터를 AWS서버로 전송한다. 또한 수중환경데이터를 전송할 경우 시간, GPS위치를 추가해서 데이터를 전송하게 된다.

그림 14는 위치표시 부이는 GPS위치 보고 체계로 GPS 데이터 수집 및 파싱 GPS 데이터를 수집후 GPS 데이터의 패킷화 및 파싱 주기 보고를 데이터 생성후 구현모뎀 OS로부터 IMEI 정보 수집후 설정되어있는 시간에 맞게 AWS 서버에 보고가 되는 시스템이다.

위의 그림 15는 광안리 해역에서 수중센서노드를 설치하는 사진이다. 해상크레인을 사용해 해상부이(35°07'39.4N, 129°09'59.4E) 설치후 해상부이와 1.2Km떨어진 수중에 기지국(35°07'10.85N, 129°09'24.09E) 이며, 센서노드도 수중에 기지국과 650m 떨어진 지역에 센서노드(35°07'14.49N, 129°08'59.66E)에 설치를 하였다.

### IV. 결 론

본 논문에서는 실험 해역은 8월 23일부터 8월 27일까지 부산광역시 남구 용호만 해역 인근 해역에서 진행되었다. 호서대에서 개발한 수중통신 모델을 수중 기지국 구조물에 장착하였으며, 수중기지국 구조물을 수심 30m에 위치한 해저면에 설치하였다. 호서대학교 개발한 수중 통신 모델에 수중 오염센서(방사능센서)가 장착되어 있는 수중 센서구조물을 수심30m에 설치하였다. 수중통신을 통한 센서데이터를 해상부이-수중 기지국-센서노드 간 연결되어 있으며, 해상 부이에서는 육상망과 스위칭모뎀(LTE Cat.M1, LTE라우터, 위성)을 통해 AWS육상서버로 전송되어 과정을 거쳐 전달된 해양 정보를 확인하기 위해 AWS아마존 서버를 구축하였다. 구축한 Web 서버를 통해 PC와 스마트폰으로 접속하여 실시간 해양 정보를 확인이 가능하다 그림 15는 실험 해역이 진행된 부산광역시 남구 용호만의 포인트 위치를 나타낸다. 수중기지국과 센서노드 설치를 위해 GPS 장비를 사용하여 각 실험 장소마다 확인 후 설치를 진행하였으며, 설치 후 기록을 통해 설치위치를 정확히 측정 위치 비교하여 설치하였다.

그림 17은 2021년 8월 부산 광안리 해역에서 3일간 실험해역에서 수집된 수중 오염 데이터를 육상모뎀에서 전송받은 데이터 기반으로 실시간으로 수중오염센서 데이터를 육상의 아마존 Web 서버를 통해 PC와 스마트폰으로 접속하여 실시간으로 데이터를 확인 가능하며, 오염도에 따른 문자 알림서비스가 가능한 수중 모니터링시스템을 구축하였다. 또한 GPS정보를 통해 오염지역의 위치를 구글 지도로 위치를 표시해주고 있다.

논문에서는 2021년 8월 부산 광안리 해안에서 8월 23일에 설치를 시작해 5일간 실험후 28일 오전에 실험을 종료하였다. 실험해역에서 수집된 수중 오염(방사

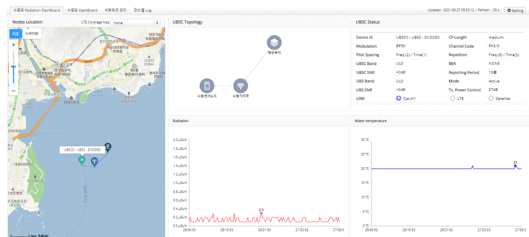


그림 16. 실험해역에서 수집된 데이터의 시각화 웹페이지 화면  
Fig. 16. Visualization web page screen of data collected in real waters

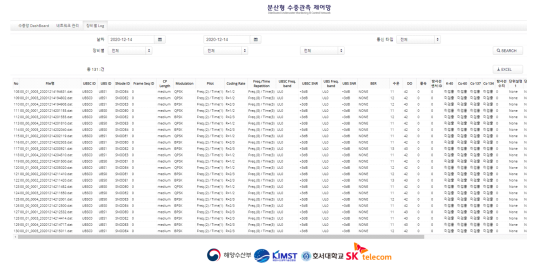


그림 17. AWS에 실험해역에서 수집된 데이터 값  
Fig. 17. Data values collected from real waters in AWS

표 2. 분산형 수중관측제어망의 일자별 측정 성공률  
Table 2. Daily measurement success rate of distributed underwater observation and control network

측정일자	성공 횟수	이론적 횟수	성공률
8월23일 ~ 8월 24일	98	144	68.1%
8월24일 ~ 8월 25일	108	144	75.0%
8월 25일 ~ 8월 26일	117	144	85.3%

능센서) 및 수온데이터를 수중통신을 통해 10분 주기로 측정된 해양오염센서(수중방사선) 및 수온데이터가 해상 부이에 수집후, 해상-육상 통신모뎀을 통해 수중통신 데이터를 AWS까지 전송을 통해 74%의 성공률로 전송됨을 확인했으며, 실험해역에서 수중-해상-육상 통해 안정적으로 전송이 가능했다. 향후 연구에서는 해상에서 필요한 해양 데이터(수온, 염도, 파고, 음속 등)데이터를 실시간으로 수집 후 기상청, 해양조사원에서 사용이 가능하도록 데이터 센터를 구축 예정이다.

### References

[1] N. R. Kim and J. H. Chung, "Trends of underwater communications and channel environment characteristics," *J. Korean Soc. for Internet Broadcasting and Commun.*, vol. 9, no. 5, pp. 243-247, Oct. 2009.

[2] A. Wang, B. Li, and Y. Zhang, "Underwater acoustic channels characterization for underwater cognitive acoustic networks," in *Proc. 2018 Int. Conf. Intell. Transp., Big Data*

& *Smart City*, pp. 223-226, Xiamen, China, 2018.

(<https://doi.org/10.1109/ICITBS.2018.00065>)

- [3] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Underwater acoustic sensor networks: Research challenges," *Ad Hoc Networks* (Elsevier), vol. 3, no. 3, pp. 257-279, 2005. (<https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2005.01.004>)
- [4] T. H. Im and H. R. Ko, "Physical layer technology for underwater acoustic communication," *KICS Inf. and Commun. Mag.*, vol. 33, no. 8, pp. 63-70, 2016.
- [5] Y.-H. Cho, T.-S. Lee, and H.-R. Ko, "Performance analysis of OFDM-Based underwater communication systems for time-varying underwater channel in western sea of Korea," *J. KICS*, vol. 43, no. 10, pp. 1654-1663, 2018. (<https://doi.org/10.7840/kics.2018.43.10.1654>)
- [6] T. G. Chung, H. T. Lim, and T. H. Im, "Performance analysis of real sea area according to OFDM parameters in the underwater channel environment of the West Sea and South Sea of Korea," *J. KIICE*, vol. 24, no. 8, pp. 1086-1094, 2020. (<http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.8.1086>)
- [9] T. G. Chung, H. C. Lee, J. S. You, J. S. Lee, K. Y. Chae, and T.-H. Im, "Zynq-based system for underwater communication modem," in *Proc. Symp. KICS*, pp. 1079-1080, Gangwon-do, Korea, Jan. 2018.

**정 태 건 (Tae-Geon Chung)**



2016년: 호서대학교 정보통신공학부 학사

2018년: 호서대학교 정보통신공학부 석사

2018.09~현재: 호서대학교 정보통신공학과 박사과정 재학 중

<관심분야> 스마트 안테나, 이동통신, IoT 통신, 수중통신, 해양통신

[ORCID:0000-0003-4934-3939]

**고 학 림 (Hak-Lim Ko)**



1983년: 숭실대학교 전자공학과 졸업

1986년: Fairleigh Dickins on Univ. 전기 및 컴퓨터 공학과 석사

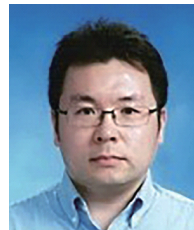
1995년: North Carolina state Univ. 전기 및 컴퓨터 공학과 박사

1996년~현재: 호서대학교 정보통신 공학과 교수

<관심분야> 스마트 안테나 시스템, 이동통신, 수중통신, 해양통신

[ORCID:0000-0003-4811-1116]

**임 태 호 (Tae-Ho Im)**



2006년: 중앙대학교 전자전기공학부 학사

2008년: 중앙대학교 전자전기공학부 석사

2012년: 중앙대학교 전자전기공학부 박사

2012년~2015년: 삼성전자 DMC 연구소책임연구원

2015년~현재: 호서대학교 해양IT융합기술연구소 부교수

<관심분야> 이동통신, IoT 통신, 수중통신, 해양통신

[ORCID:0000-0003-1232-7409]