

## 해양관측을 위한 다중 홉 릴레이 네트워크 기반의 부이 시스템 구현

# Implementation of a Buoy System Based on Multi-Hop Relay Networks for Ocean Observation

이운현<sup>1</sup> · 권혁진<sup>1</sup> · 김시문<sup>1</sup> · 정성훈<sup>2</sup> · 김정창<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국해양대학교 전자전기정보공학부

<sup>2</sup>한국해양대학교 산업기술연구소

Woon-hyun Lee<sup>1</sup> · Hyuk-Jin Kwon<sup>1</sup> · Si-moon Kim<sup>1</sup> · SeongHoon Jeong<sup>2</sup> · Jeongchang Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Electronics and Electrical Information Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

<sup>2</sup>Research Institute of Industrial Technology, Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Korea

### [요 약]

본 논문에서는 해양관측을 위한 멀티 홉 릴레이 네트워크 기반의 부이 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 다양한 센서 모듈과 게이트웨이, 무선 통신부, 원격 모니터링부로 구성된다. 센서 모듈은 다양한 통신 인터페이스와 통합되고 CAN 버스 기반의 단일화된 프로토콜을 통하여 제안하는 부이 시스템의 게이트웨이와 연결된다. 제안한 시스템은 원격 모니터링 사이트와 무선으로 데이터를 주고 받으며 통신 커버리지를 더욱 확대하기 위하여 LTE 통신 및 XBee 메쉬 네트워크 모듈을 사용한다. 필드 테스트를 통하여 제안하는 다중 홉 릴레이 네트워크 기반의 부이 시스템이 다중 홉을 이용하여 부이의 통신 도달 거리를 더욱 확장할 수 있음을 확인할 수 있다.

### [Abstract]

In this paper, we propose a buoy system based on multi-hop relay networks for ocean observation. The proposed system consists of various sensor modules, a gateway, wireless communication modules, and a remote monitoring site. The sensor modules are integrated with various communication interfaces and connected to the gateway of the proposed buoy system with a unified protocol based on controller area network (CAN)-bus. In order to communicate with the remote monitoring site and extend the coverage, the proposed system uses long-term evolution (LTE) router and XBee mesh network modules. The field test results show that the proposed system can extend the coverage using the proposed multi-hop relay network.

**Key word** : Buoy, Control area network bus, Multi-hop relay network, Ocean observation, Sensor.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.3.182>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 16 May 2016; Revised 25 May 2016  
Accepted (Publication) 25 June 2016 (30 June 2016)

\*Corresponding Author; Jeongchang Kim

Tel: +82-51-410-4315

E-mail: jchkim@kmou.ac.kr

## 1. 서론

최근, ICT (information and communication technologies)는 사물인터넷 (IoT; internet of things) 기술의 출현에 따라 급격한 발전을 거듭하고 있다. 사물인터넷 기술은 헬스케어, 스마트 카, 스마트 공장, 스마트 홈, 스마트 시티와 같이 우리 실생활에 매우 밀접한 다양한 서비스에 적용되고 있다. 한편, 해양 분야에서는 통신 가능 거리, 전원 공급, 시스템의 유지 및 보수 등 여러 가지 환경적인 제약으로 인하여 사물인터넷 기술을 접목하여 서비스를 구현하기가 쉽지 않다. 하지만, 최근 해양에서 발생한 지진, 쓰나미와 같은 자연 재해로 인하여 수많은 인명 피해가 야기되고 있어 이러한 자연 재해를 사전에 예측하기 위한 정보를 수집하기 위하여 해양 관측이 매우 중요해지고 있다.

현재 해양 관측을 위해서 해양 관측 부이 (buoy), 기상 관측 위성 등 다양한 수단들이 사용되고 있다. 특히, 해양 관측 부이는 다양한 해양 정보를 측정할 수 있는 센서 유닛 (sensor unit) 들을 탑재하여 직접적으로 해양 정보를 측정할 수 있어 전세계적으로 널리 활용되고 있다. DART (deep-ocean assessment and reporting of tsunamis) 부이는 해양에서 일어나는 쓰나미의 감지와 실시간 보고를 위해 개발되었다[1]. 또한, 무어링시스템사는 기상학, 해양학 연구를 위한 부이를 개발한 사례가 있다 [2].

부이 시스템을 설계하고 구현함에 있어서 고려해야 할 요소들 중의 하나는 해양 관측용 부이는 다양한 해양 관측용 센서 유닛들을 탑재하고 있다는 점이다. 특히, 해양 관측 센서는 제조사 혹은 종류에 따라 별도의 입출력 (I/O; input/output) 인터페이스를 지원하고 있으므로 센서 유닛의 측정 데이터를 수집하는 부이 시스템은 사용되는 센서 유닛에 따라 해당 I/O 인터페이스를 지원할 수 있도록 구현해야 한다. 따라서, 사용되는 센서 유닛의 종류 및 인터페이스 방식의 변경이 발생할 경우 부이 메인 시스템의 하드웨어도 변경되어야 하므로 부이 시스템의 설계와 유지 및 보수가 용이하지 못하다.

이와 같은 문제점을 극복하기 위해 본 논문에서는 다중 홉 릴레이 네트워크 (multi-hop relay network) 기반의 부이 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 센서 유닛을 포함한 센서 모듈 (sensor module), 센서로부터 측정된 데이터를 전달받는 게이트웨이 (gateway), 원격지에서 부이의 관측 데이터를 모니터링하기 위한 원격 모니터링 사이트 (remote monitoring site)로 구성된다.

본 논문에서 제안하는 부이 시스템은 다양한 통신 인터페이스를 갖는 센서 유닛들을 하나의 단일화된 인터페이스로 연결하기 위하여 CAN (control area network) 버스 기반의 프로토콜을 사용한다[3]. CAN 버스는 제조 산업에서 쓰이는 전기제어 장비들과 선박에 주로 사용되고 있으며 전기적 특성이 강건하고 저렴한 비용 및 작동 방식이 간단하다는 장점을 가지고 있다 [4]-[7]. CAN 버스 기반의 통합 인터페이스를 적용함으로써 각종 해양 장비에서 현재 사용되고 있는 기존 시스템 혹은 장비들

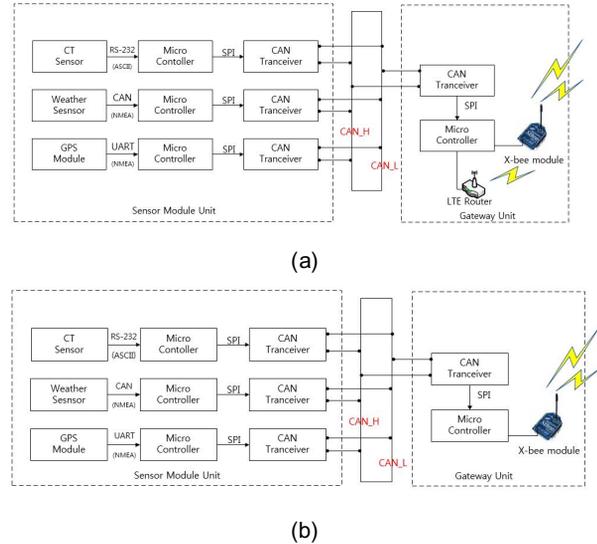


그림 1. 제안하는 부이 시스템의 구성도. (a) 메인 부이. (b) 릴레이 부이.

Fig. 1. Block diagram of the proposed buoy system. (a) Main buoy (b) Relay buoy.

과의 호환성을 유지할 수 있다는 장점이 있다.

또한, 본 논문에서 제안하는 부이 시스템은 LTE (long term evolution) 통신을 통하여 고속의 데이터 전송을 가능하게 하고, XBee 모듈을 이용한 메시 네트워크 (mesh network)를 구축하여 부이 간의 다중 홉 릴레이 통신을 구현함으로써 부이와 원격지 모니터링 사이트와의 통신 커버리지 (coverage)를 더욱 확대할 수 있다.

## II. 제안하는 부이 시스템 구성

본 장에서는 제안하는 다중 홉 릴레이 네트워크 기반의 부이 시스템의 구성에 대해서 설명한다. 그림 1(a)와 그림 1(b)는 제안하는 부이 시스템의 구성도를 나타낸다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 제안하는 부이 시스템은 다수의 센서 모듈, 하나의 부이 게이트웨이, 다양한 수단의 통신 모듈로 구성된다. 다중 홉 릴레이 네트워크 기반의 부이 전개 (deployment)에 있어서 메인 부이 (main buoy)는 원격지 모니터링 사이트와 직접적으로 통신할 수 있는 부이를 의미하고, 릴레이 부이 (relay buoy)는 원격지 모니터링 사이트와 직접적으로 통신할 수 있는 커버리지 바깥에 존재하는 부이로서 하나 이상의 부이와 다중 홉 릴레이 통신을 통하여 메인 부이까지 연결된다.

### 2-1 센서 모듈 및 부이 게이트웨이

그림 1(a)와 그림 1(b)에서 보여지듯이 센서 모듈 및 부이 게이트웨이는 메인 부이 및 릴레이 부이에 공통적인 구성 요소로

서 해양 관측을 위하여 필수적인 센서 유닛들로부터 측정된 데이터를 전달받고 제어하는 역할을 담당한다.

**1) 센서 모듈부**

센서 모듈부는 센서 유닛과 마이크로컨트롤러 유닛, 그리고 CAN 트랜시버로 구성된다. 본 논문에서 구현한 부이 시스템은 3 가지 종류의 센서 유닛을 탑재하고 있다. 해수의 전도도와 온도 측정을 위한 CT (conductivity and temperature) 센서, 해상에서 기상 정보를 측정하기 위한 기상 센서 (weather sensor), 부이의 위치를 파악하기 위한 GPS (global positioning system) 모듈을 사용하였으며 각 센서 유닛은 서로 다른 종류의 I/O 인터페이스를 지원한다.

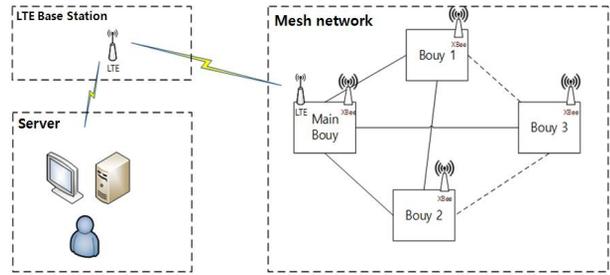
먼저, CT 센서는 ASCII 형식의 데이터를 UART (universal asynchronous receiver/transmitter) 방식으로 전송하고, 기상 센서는 NMEA2000 (national marine electronics association) 형식의 데이터를 CAN 방식으로 전송한다. 마지막으로, GPS 모듈은 NMEA0183 형식의 데이터를 UART 방식으로 전송한다. 본 논문에서는 통합된 인터페이스를 지원하기 위하여 각 센서 유닛마다 별도의 마이크로컨트롤러 및 CAN 트랜시버를 추가하여 마이크로컨트롤러에서 각 센서 유닛 별로 측정된 다양한 데이터 중에서 필요한 값을 파싱 (parsing)하고 CAN 트랜시버로 데이터를 전달한다. 그러면, CAN 트랜시버는 파싱된 데이터를 CAN 형식으로 변환하여 CAN 버스를 통하여 게이트웨이로 전송하게 된다.

**2) 부이 게이트웨이**

그림 1에서 볼 수 있듯이 부이의 게이트웨이는 CAN 트랜시버와 마이크로컨트롤러 유닛, 다양한 통신 모듈 (LTE 라우터, XBee 모듈 등)로 구성된다. 앞서 언급한 바와 같이, 센서 모듈은 센서 측정 데이터를 CAN 형식으로 변환하고 이를 CAN 버스를 통하여 전송하게 된다. 본 논문에서는 CT 센서, 기상 센서, GPS 모듈로부터 측정된 전도도, 온도, 풍향, 풍속, GPS 등의 데이터가 모두 CAN 형식으로 재구성된다. 부이 게이트웨이는 이러한 CAN 형식의 데이터를 센서 모듈로부터 수신하고 센서 모듈을 제어하는 역할을 수행한다. CAN 형식의 각 데이터는 고유한 ID를 가지고 있으며 부이 게이트웨이는 이러한 ID를 구분함으로써 센서 데이터를 구분한다. 또한, 게이트웨이에서 수신된 데이터는 원격지 모니터링 사이트와 LTE 통신이 가능한 경우 LTE 라우터를 통하여 직접적으로 전달되고, LTE 통신 커버리지를 벗어나 있는 경우 XBee 모듈을 통하여 인접 릴레이 부이에 전달한다.

**2-2 통신 모듈-다중 홉 릴레이 네트워크**

그림 1(a)의 메인 부이는 원격지 모니터링 사이트와 직접적인 통신이 가능하도록 LTE 라우터를 내장한다. 또한, 릴레이 부이와 함께 다중 홉 릴레이 네트워크를 구축하기 위한 XBee 모듈도 함께 구성된다. 그림 1(b)의 릴레이 부이는 LTE 통신 커



**그림 2.** 제안하는 부이 시스템을 위한 메쉬 네트워크 구성의 예  
**Fig. 2.** Example of the mesh network for the proposed buoy system.

버리지의 바깥에서 원격지 모니터링 사이트로 데이터를 전송하기 위하여 인접 부이들과 Ad-hoc 네트워크를 구성할 수 있는 XBee 모듈을 내장한다. 그림 1(a)와 그림 1(b)의 부이 시스템에서 센서 모듈 및 게이트웨이는 동일한 구성을 가지며 부이 게이트웨이에서 LTE 라우터의 사용 여부만 차이가 있다.

**1) LTE 통신**

본 논문에서 제안하는 부이 시스템은 LTE 라우터를 사용하여 원격지 모니터링 사이트로 센서 측정 데이터를 전송한다. 해상에 전개된 부이에서 측정된 데이터들은 메인 부이로 전송되어 LTE 통신을 통하여 지상의 가장 가까운 LTE 기지국으로 전송된다. 각 부이의 센서 측정 데이터는 원격지의 데이터베이스 (DB; database) 서버로 전송되고 PC 혹은 스마트폰을 통하여 모니터링이 가능하다. 센서 측정 데이터는 시간순으로 정렬되어 시간에 따른 측정 결과의 변화를 확인할 수 있으며 GPS 수신 값을 통하여 지도 상에 부이의 위치를 표시함으로써 측정 위치를 실시간으로 모니터링 가능하다.

**2) 메쉬 네트워크**

그림 2는 제안하는 부이 시스템을 위한 메쉬 네트워크 구성도를 나타낸다. 본 논문에서 제안하는 부이 시스템의 다중 홉 릴레이 네트워크는 그림 2와 같이 메쉬 네트워크의 형태로 구성된다. 그림 2는 해상에 전개된 부이의 개수가 4인 경우의 예를 보여준다. 모든 부이들은 서로 통신이 가능하도록 구성되어 있으며 이들 중 1개의 메인 부이만 지상의 모니터링 사이트와 LTE 통신을 통하여 데이터를 주고받을 수 있다. 따라서, 그림 2의 메인 부이는 그림 1(a)와 같은 시스템 구성을 가지고, 나머지 릴레이 부이(부이 1, 2, 3)는 그림 1(b)와 같은 시스템 구성을 갖는다.

모든 부이는 XBee 모듈을 사용하여 서로 통신이 가능하도록 메쉬 네트워크를 이루고 있다. 예를 들어, 그림 2에서 부이 3이 메인 부이와 통신 가능한 커버리지 내에 있는 릴레이 부이가 될 경우 센서 측정 데이터를 메인 부이로 전송함으로써 메인 부이에서 LTE 통신을 이용하여 원격지 모니터링 사이트로 데이터를 전송한다. 또한, 부이 3이 릴레이 부이로서 메인 부이와 직접적으로 통신이 불가능할 경우 부이 1 혹은 부이 2를 경유하여

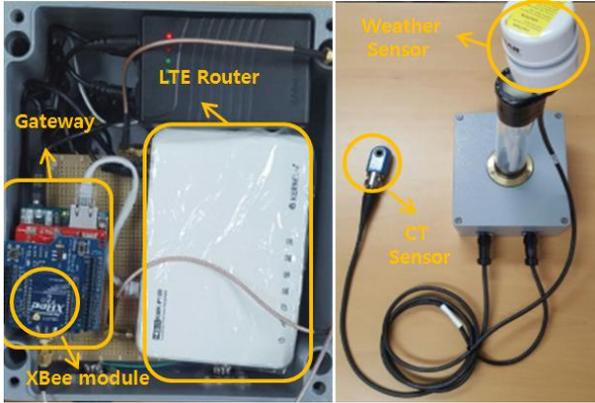


그림 3. 제안하는 부이 시스템의 하드웨어 구현 결과  
Fig. 3. Implementation of the proposed buoy system.

메인 부이로 센서 측정 데이터를 전송할 수 있으며, 메인 부이가 이를 다시 원격지 모니터링 사이트로 전달할 수 있다.

XBee 모듈은 게이트웨이의 마이크로컨트롤러와 UART 방식을 사용하여 데이터를 송수신한다. 릴레이 부이는 XBee 모듈을 사용하여 센서 측정 데이터를 다른 릴레이 부이들로 브로드캐스트 (broadcast)한다. 최종적으로, 릴레이 부이로부터 해당 센서 측정 데이터를 전달받은 메인 부이는 LTE 통신을 이용하여 원격지 모니터링 사이트로 데이터를 전송하게 된다. XBee 모듈의 통신 가능 거리는 실외 (outdoor) 환경에서 테스트했을 때 대략 2.375 km로 측정되었다<sup>1)</sup>. 따라서, 메인 부이와 다른 부이 사이에 여러 개의 릴레이 부이를 전개시킴으로써 다중 홉 릴레이를 통하여 통신 가능 거리를 확장할 수 있다. 예를 들어, 메인 부이 이외에 3개의 릴레이 부이를 추가로 사용할 경우 7.215 km까지 통신 가능 거리를 확장할 수 있게 된다.

### III. 부이 시스템 구현 및 테스트 결과

본 논문에서는 오픈 플랫폼을 기반으로 하여 제안하는 부이 시스템을 구현하고 실험실 및 해상에서 동작을 테스트하였다.

#### 3-1 제안하는 부이 시스템 구현 결과

그림 3은 본 논문에서 구현한 해양관측 부이 시스템의 하드웨어 구현 결과를 나타낸다. 외부 하드웨어 구성에는 내부의 센서 모듈과 연결되는 외부 센서 유닛으로서 CT 센서<sup>2)</sup>, 기상 센서<sup>3)</sup>, LTE 라우터<sup>4)</sup>와 GPS 모듈<sup>5)</sup>의 안테나를 설치하기 위한

- 1) XBee 모듈의 통신 가능 거리는 날씨 등 동작 환경에 영향을 받으며 맑은 날씨를 기준으로 테스트한 결과이다.
- 2) AADI Conductivity Sensor 4319
- 3) AIRMAR 200WX
- 4) KMK-P100
- 5) AKMU2P



그림 4. 제안하는 부이 시스템의 커넥터 구성  
Fig. 4. Connector configuration of the proposed buoy system.

표 1. LTE 라우터 규격  
Table 1. Specifications of LTE router.

Item	Specifications
Flash memory	8 MB
RAM	64 MB
LAN interface	100 Base-T RJ-45
WLAN	IEEE 802.11 b/g/n
Power consumption	Standby 300 mA/9V, Busy 600 mA/9V

안테나 기둥으로 구성되어 있다. 본 논문에서 구현한 해양관측 부이 시스템은 해상 환경에서 동작하며 사용된 센서들은 수중 혹은 수상 환경에서 해양 정보를 측정하므로 방수처리를 통하여 부이 시스템 내부로 물이 들어가지 않도록 수밀 가공을 하였다. 본 논문에서 구현한 부이 시스템 내부와 외부를 연결하는 커넥터의 방수 수준은 IPX7~8등급으로, 이는 부이를 수면아래 1m에서 24시간이상 두었을 때 내부에 물이 들어가지 않을 정도를 의미한다. 또한, 센서 유닛의 탈부착을 용이하게 하기 위하여 그림 4와 같이 부이 시스템의 외부에 커넥터를 연결하여 CT 센서나 기상 센서 외에도 다양한 센서를 적용할 수 있도록 설계하였다.

다음으로, 제안하는 부이 시스템의 내부 하드웨어 구성에는 센서 모듈과 부이 게이트웨이를 구성하는 마이크로컨트롤러 유닛과 CAN 통신을 위한 CAN 트랜시버, 원격지 서버와의 통신을 위한 LTE 라우터, 다중 홉 릴레이 네트워크를 위한 XBee 모듈 및 통신 안테나 (LTE 및 XBee), 배터리, 인터페이스 보드로 구성된다.

본 논문에서 사용된 LTE 라우터의 규격은 표 1과 같다. 내부에서 발생하는 열의 분산을 위하여 배터리를 포함한 각 모듈은 2층 형태의 구조로 구성하였고 배터리는 12V의 배터리를 사용하였다. 또한, 전압 컨버터를 이용하여 LTE 모듈과 마이크로컨트롤러 유닛에는 9V를 공급하도록 설계하였다. 본 논문에서 사용된 LTE 라우터에서 소비되는 전류에 따라 대략 2.7W (Standby 상태) ~ 5.4W (Busy 상태)의 전력이 소비된다. 인터페이스 보드는 CAN 버스를 구성하여 센서 모듈과 게이트웨이 사이에 CAN 버스를 이용한 단일화된 프로토콜로 데이터를 송수

표 2. XBee 모듈의 스펙

Table 2. Specifications of XBee module.

Item	Specifications
RF Data rate	250 Kbps
Indoor/Urban Range	300 ft (90 m)
Outdoor/ RF Line-of-sight Range	1 mile (1.6 km)
Transmit Power	63 mW(+18 dBm)
Receiver Sensitivity (1 % Per)	-100 dBm

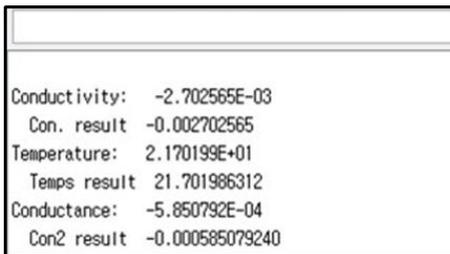


그림 5. 부이 게이트웨이에서 파싱 및 처리된 데이터의 예

Fig. 5. Example of parsed and processed data.

신할 수 있도록 설계하였다. 또한, 부이의 게이트웨이에 XBee 모듈을 탑재하여 부이 간의 메시 네트워크를 구성함으로써 다중 홉 릴레이 네트워크를 통한 원격지 모니터링 사이트와의 통신 가능 거리를 확대하였다. 사용된 XBee 모듈의 규격은 표 2와 같다.

### 3-2 테스트 결과

#### 1) 센서 모듈부의 데이터 파싱 및 처리

센서 유닛에서 측정된 데이터는 센서 유닛마다 상이한 입출력 인터페이스를 통하여 전송될 수 있으므로 센서 모듈부는 다양한 입출력 인터페이스를 CAN 버스 기반의 단일화된 프로토콜로 변환하는 기능을 수행한다. 또한, 센서 유닛에서 측정된 데이터 중에 필요한 데이터만 파싱함으로써 효율적인 데이터 전송 및 통합 관리가 가능하도록 구현하였다. 본 논문에서 구현한 CT 센서 모듈에서는 CT 센서로부터 ‘conductivity’, ‘temperature’, ‘conductance’, ‘RawCond0’, ‘RawCond1’, ‘RawTemp’의 값을 전달받는다. 여기서, ‘RawCond0’, ‘RawCond1’, ‘RawTemp’는 센서의 측정 데이터에 대한 가공되지 않은 raw 데이터 값을 나타내며, ‘conductivity’, ‘temperature’, ‘conductance’는 raw 데이터 값들을 가공하여 각각 전도도, 온도, 컨덕턴스 정보로 계산한 값들이다. 이 중에서 가공된 전도도, 온도, 컨덕턴스 값만을 ASCII 문자 형태로 파싱하여 CAN 포맷으로 만들어 부이 게이트웨이로 전송한다. 부이 게이트웨이에서는 문자 형태로 전송된 데이터를 DB 서버로 전송하기 위하여 실수 형태의 데이터로 가공하는 과정을 거친다.

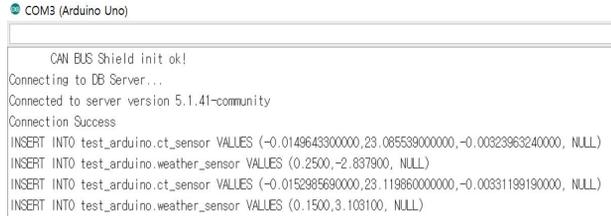


그림 6. 부이 게이트웨이로부터 원격지 모니터링 사이트로 전송한 데이터의 예

Fig. 6. Example of transmitted data from the gateway to the remote monitoring site.

그림 5는 부이 게이트웨이에서 센서 데이터를 처리한 결과를 나타낸다. CT 센서 모듈로부터 파싱되어 전송된 각각의 문자 형태의 데이터 값은 그림 5에서 보여 지는 것과 같이 소수점 자리를 고려한 실수형태로 변환된 후 DB 서버로 전송된다. 기상 센서 모듈 또한 마찬가지로 센서 유닛으로부터 얻을 수 있는 다양한 데이터 중에서 풍향, 풍속 값만을 파싱하여 여러 개의 CAN 프레임으로 나누어서 게이트웨이로 전송하고, 부이 게이트웨이는 수신한 데이터를 가공하여 DB 서버로 전송한다.

#### 2) 센서 모듈-게이트웨이 모니터링

다양한 센서들의 인터페이스를 CAN 프로토콜로 변환하는 다수의 센서 모듈로부터 CAN 버스로 데이터를 송수신하는 게이트웨이에서 통합된 데이터를 원격 모니터링 사이트로 전송하는 과정을 실시간으로 관찰하였다. 본 실험에서는 CT 센서와 기상 센서를 이용하여 측정된 값을 CAN 통신을 기반으로 하여 게이트웨이에서 수신하여, 원격지의 데이터베이스 서버로 전송하는 결과를 모니터링하였다.

그림 6은 게이트웨이에서 센서 모듈로부터 데이터를 받아 원격지의 데이터베이스 서버로 전송하는 결과를 모니터링한 결과이다. 모니터링은 게이트웨이의 시리얼 모니터링 기능을 통해 PC에서 확인하였다. 먼저 게이트웨이에서 원격지의 DB 서버로 접속을 시도하여 접속에 성공하게 되면 각 센서 모듈은 센서들의 필요한 정보만 파싱하여 CAN 형식으로 데이터를 게이트웨이로 전송하고, 게이트웨이는 CAN 버스를 통해 데이터를 받아 저장한다. 원격지 모니터링 사이트에서는 웹 기반 어플리케이션을 통하여 센서 측정 데이터를 모니터링하며 이는 PHP를 이용하여 구현된다. 따라서, 부이 게이트웨이는 원격지 DB 서버에 접속하며, PHP의 ‘INSERT INTO’ 구문을 이용하여 해당 센서 측정 데이터를 해당 DB 테이블인 ‘ct\_sensor’ 와 ‘weather\_sensor’에 기록한다.

#### 3) 원격지 DB 서버의 모니터링

그림 7은 원격지 DB 서버의 모니터링 결과이다. 그림 7의 왼쪽 그림은 원격지 DB 서버에서 관찰한 ‘ct\_sensor’ 테이블에 기록된 CT 센서 값을 나타낸다. 테이블값의 왼쪽부터 전도도, 온도, 컨덕턴스 순서로 나타내고 제일 우측에는 서버로 값이 도착

	conductivity	temperature	conductance	ct_date
<input checked="" type="checkbox"/>	-0.014964330000	23.085539000000	-0.00323963240000	2016-05-10 15:02:28
<input checked="" type="checkbox"/>	-0.015298569000	23.119860000000	-0.00331199190000	2016-05-10 15:02:32
<input type="checkbox"/>	-0.014576669000	23.116590000000	-0.00315570830000	2016-05-10 15:02:36
<input type="checkbox"/>	-0.015481929000	23.116590000000	-0.00335168840000	2016-05-10 15:02:40
<input type="checkbox"/>	-0.014572819000	23.121490000000	-0.00315487410000	2016-05-10 15:02:44
<input type="checkbox"/>	-0.014935141000	23.121490000000	-0.00323331430000	2016-05-10 15:02:48

	wind_speed	wind_dir	date
<input checked="" type="checkbox"/>	0.2500	-2.837900	2016-05-10 15:02:29
<input checked="" type="checkbox"/>	0.1500	3.103100	2016-05-10 15:02:33
<input type="checkbox"/>	0.1500	3.103100	2016-05-10 15:02:37
<input type="checkbox"/>	0.1500	3.103100	2016-05-10 15:02:41
<input type="checkbox"/>	0.2000	3.103100	2016-05-10 15:02:45
<input type="checkbox"/>	0.1500	2.326400	2016-05-10 15:02:49

그림 7. DB 서버의 수신 데이터의 예  
Fig. 7. Example of received data at DB server.



그림 8. 실내 환경에서 실험실 테스트 환경  
Fig. 8. Laboratory test environment of indoor reception.

표 3. 실내 환경에서 RSSI 측정 값  
Table 3. RSSI under indoor reception environment.

Distance [m]	RSSI [dBm]	
	Buoy A	Buoy B
8	-32	-37
16	-42	-43
24	-56	-54
32	-55	-52
40	-54	-57
48	-58	-59
56	-63	-54

한 시간을 나타내어 시간 순으로 데이터값을 확인할 수 있다. 그림 7의 아래 그림은 DB 서버에서 관찰한 ‘weather\_sensor’ 테이블에 기록된 기상 센서 값을 나타낸다. 테이블 값의 왼쪽부터 풍속, 풍향 순서로 나타내고 CT 센서와 마찬가지로 제일 우측에는 서버로 값이 도착한 시간을 나타내어 시간 순으로 데이터 값을 모니터링할 수 있다.

GPS 모듈로부터 수신된 데이터는 경도 값과 위도 값을 DB 서버로 전송하여 웹페이지를 통하여 실시간으로 확인할 수 있고, 인터넷의 지도와 연결하여 웹페이지 상에서 클릭 시 부이의 위치를 한눈에 파악할 수 있다.



그림 9. 실외 환경에서 테스트 환경  
Fig. 9. Laboratory test environment of outdoor reception.

표 4. 실외 환경에서 RSSI 측정 값  
Table 4. RSSI under outdoor reception environment.

위치	RSSI [dBm]	
	Buoy 1	Buoy 2
A (412 m)	-75	-72
B (707 m)	-81	-77
C (1423 m)	-95	-94

표 5. 실외환경에서 테스트 날씨정보  
Table 5. Weather environment for outdoor test.

	Cloud Cover	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Rainfall (mm)
Weather A	2.4	15.2	51.9	0.00
Weather B	10.0	15.1	92.8	22.3

※ Cloud Cover : clear skies(0~2), lightly clouded(3~5), cloudy(6~8), overcast(9~10)

#### 4) 메쉬 네트워크

제안한 부이 시스템에서 XBee 모듈을 이용한 릴레이 네트워크 기반 통신 성능을 검증하기 위하여 다음과 같이 실험을 진행하였다. 실외 테스트를 진행하기에 앞서 실내 실험실에서 동작을 먼저 검증하였다. 그림 8과 같이 건물 내의 동일한 층에서 2개의 부이 (Buoy A 및 Buoy B)를 서로 다른 위치에 설치하고 8m 간격마다 RSSI (received signal strength indication) 값을 측정하였다. 측정 결과는 표 3과 같다.

다음으로 실외 환경에서 통신 모듈의 성능을 실험해보았다. 실험은 부산시 영도구 동삼동 일대에서 그림 9와 같이 A(해양종합공원), B(해양박물관), C(동삼초등학교)의 위치에서 진행하였다. 표 4는 실외 환경에서 XBee 모듈의 RSSI 측정 결과를 나타낸다. 실외 실험에서 거리에 따라 RSSI 값이 크게 차이가 발생함을 확인할 수 있다. 또한, 거리가 멀어질수록 RSSI 값의 크기는 줄어드는 것을 확인할 수 있다. XBee 모듈의 통신 성능은 주변 환경 및 날씨에 따라 변할 수 있다. 따라서, 본 논문에서

는 표 5와 같이 2가지 날씨 환경에서 실험을 진행하였다. 표 5는 실외 환경에서 통신 모듈의 성능을 실험한 날씨에 대한 정량적인 정보를 나타낸다. 먼저, 날씨 A의 환경에서는 2.375 km까지 통신할 수 있었다. 날씨 B의 환경에서 RSSI 측정 결과는 표 4와 같다. 본 논문에서 사용한 XBee 모듈은 -100 dBm의 RSSI까지 통신할 수 있으므로 날씨 B의 환경에서 최대 통신 거리는 대략 1.5km 정도이다. 상대적으로 강수량 및 운량이 적은 날씨 A의 환경에서 최대 통신 거리가 보다 길다는 것을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 해양 관측을 위한 다중 홉 릴레이 네트워크 기반의 부이 시스템을 제안했다. 센서 모듈은 센서들의 다양한 통신 인터페이스를 하나의 인터페이스 규격으로 통합하여 데이터를 수집하고 CAN 버스 기반의 단일화된 프로토콜을 통하여 게이트웨이로 전송하고, 게이트웨이에서 수신한 데이터는 원격지의 모니터링 시스템으로 전송되어 DB 서버에 저장되고 모니터링된다. 센서 모듈들의 단순한 결합이 아닌 인터페이스의 단일화 및 통합관리가 가능하므로 해양 관측 부이의 유지보수 및 관리가 쉬워지고, 해양 정보를 실시간으로 모니터링할 수 있으므로 수집된 데이터들을 다양한 분야에 용이하게 적용할 수 있다. 또한, 해양 관측 부이가 LTE 통신 도달 거리를 벗어날 경우 하나 이상의 다른 부이 혹은 선박 및 해상 구조물과 함께 메쉬 네트워크를 구성하여 다중 홉 릴레이 네트워크 기반의 통신을 구현하였다. 필드 테스트를 통하여 제안하는 다중 홉 릴레이 네트워크 기반의 부이 시스템이 부이의 통신 도달 거리를 더욱 확장할 수 있음을 확인했다.

#### 감사의 글

본 연구는 2015년 한국해양과학기술원의 이사부 창의과제

의 지원으로 수행하였음. 과제명 : 해양관측 부이를 위한 해양 IoT 표준 플랫폼 개발.

#### 참고 문헌

- [1] National Weather Service. Monitoring Tsunamis [Internet]. Available: <http://www.srh.noaa.gov/jetstream/tsunami/dart.htm>.
- [2] Mooring Systems, Inc. Surface Buoy Systems [Internet]. Available: <http://www.mooringssystems.com/surface.htm>.
- [3] S. Kim, W. H. Lee, H. J. Kwon, and J. Kim, "Design and preliminary implementation of an IoT-based system for ocean observation buoys," in To be presented in *Proceeding of International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC)*, Okinawa: Japan, pp.1-3, July 2016.
- [4] International Organization for Standardization, "Roadvehicles - Controller area network (CAN) - Part 1: Data link layer and physical signaling," ISO 11898-1:2003, Nov. 2003.
- [5] J. Sommer and R. Blind, "Optimized resource dimensioning in an embedded CAN-CAN gateway," in *Proceeding of International Symposium on Industrial Embedded Systems*, Lisbon: Portugal, pp. 55-62, July 2007.
- [6] J. S. Yang, S. Lee, K. C. Lee, and M. H. Kim "Design of FlexRay-CAN gateway using node mapping method for in-vehicle networking systems," in *Proceeding of International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, Gyeonggi-do: Korea, pp. 146-148, Oct. 2011.
- [7] C. Watterson, "Controller area network (CAN) implementation guide," AN-1123, [http://www.analog.com/static/importedfiles/application\\_notes/AN-1123.pdf](http://www.analog.com/static/importedfiles/application_notes/AN-1123.pdf)



**이 운 현 (Woon-hyun Lee)**

2016년 2월 : 한국해양대학교 전자소재공학과 (공학사)  
2016년 2월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학석사)  
※ 관심분야 : 통신공학, 디지털 통신시스템 설계, IoT



**권 혁 진 (Hyuk-Jin Kwon)**

2015년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사)  
2015년 2월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학석사)  
※ 관심분야 : 디지털 통신시스템 설계, 통신공학, IoT



**김 시 문 (Si-moon Kim)**

2015년 2월 : 한국해양대학교 전자소재공학과 (공학사)  
2016년 2월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학석사)  
※ 관심분야 : 통신공학, 디지털 통신시스템 설계, IoT



**정 성 훈 (SeongHoon Jeong)**

2007년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학박사)  
2010년 8월 ~ 현재 : 한국해양대학교 산업기술연구소 산학연구교수  
※ 관심분야 : IoT, 해상통신, e-Navigation, ICT융합 기술기반 스마트 그린선박



**김 정 창 (Jeongchang Kim)**

2006년 8월 : 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부 (공학박사)  
2010년 9월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전자전기정보공학부 교수  
※ 관심분야 : MIMO, OFDM, 디지털 통신시스템 설계, 통신공학, 사물인터넷(IoT)