

# LoRaWAN을 이용한 선박 내부 격벽통과 신호의 특성 및 거리에 따른 수신율 분석

박문수<sup>†</sup>, 오정수<sup>\*\*</sup>

## Through-the-inner Bulkhead Signal Characteristics and Distance based Analysis on Receiving Rate using LoRaWAN

Moon Su Park<sup>†</sup>, Jung Soo Oh<sup>\*\*</sup>

### ABSTRACT

As the accidents of cargo and passenger carrying ships occur, the stress faced by the vessel users is increasing. The risk factors for accident deterioration in remote marine area are stronger than those in road accidents, and therefore the need for safety control is greatly emphasized. To overcome such issue, a lot of effort has been made in terms of conducting research and development of the passengers and freights location tracking system. However, the inner bulkhead structures are made of aluminum/steel which is a difficult material to transfer location information through. This study aims to measure the receiving rate of LoRaWAN signal inside the aluminum/steel bulkhead structures with variation in reception strength and distance. The test was taken place at platforms with 6T and 8T enclosures to reflect the same conditions found in fishery patrol boats. The receiving rate of through-the-wall communication at 10M distance turned out to be 86% in case of using two 6T enclosures, and 73% in case of using one 8T enclosure. The result showed that the receiving rate was more affected by the thickness rather than the number of enclosures.

**Key words:** Low Power Wide Area Network(LPWAN), Location Based Service(LBS), Internet of Things(IoT)

### 1. 서 론

과학의 발전에 따른 조선공학의 발전에도 불구하고 해양 사고의 위험은 여전히 높기 때문에 이를 예방하고 피해 규모를 최소화시켜야 한다[1]. 선박에 대한 사고가 발생하면 대형사고로 이어질 수도 있다는 점에서 진수 이후의 선원/승선자 안전 및 화물의 관리를 위한 ICT 융합 기술 및 서비스 개발이 반드시 필요하다[2].

기존의 선박에서는 EPIRB(Emergency Position

Indicating Radio Beacon)가 존재하지만, 최대 45분의 경고 지연 문제가 있고, GPS(Global Positioning System)가 없는 기본형 EPIRB는 위치의 오차가 5km나 되며, 사고 당한 선박의 위치를 찾기 위한 용도로 사용된다[3]. 사고 발생 시 스마트폰과의 연동 없이 자체적으로 GPS 위치를 받아 장거리까지 조난 신호를 보낼 수 있는 저전력 장거리 디바이스와 조난 신호를 받아 수색 구조를 빠르게 진행할 수 있게 도와주는 신호 스캐너가 도입되면 해난사고 발생 시 골든타임을 크게 확보할 수 있다.

※ Corresponding Author : Jung Soo Oh, Address: (46288) 52, Jangjeon-ro, Geumjeong-gu, Busan, Korea, TEL : +82-51-512-7565, FAX : +82-, E-mail : js@fsrnt.com  
Receipt date : Nov. 27, 2019, Revision date : Jan. 23, 2020  
Approval date : Jan. 28, 2020

<sup>†</sup> FS R&T Inc. (E-mail : mspark@fsrnt.com)

<sup>\*\*</sup> FS R&T Inc.

※ This work was supported by the ICT Convergence Industry 4.0 (R & D) Technology Development Project of NIPA in 2017. (R-20170420-001559)

인명과 화물을 관리하기 위하여 실내 위치를 측위하기 위한 여러 가지 기술들이 있는데 대표적인 무선 통신 기반 측위 기술로는 Zigbee, Wi-Fi(Wireless Fidelity), BLE(Bluetooth Low Energy), UWB(Ultra Wide-Band), RFID(Radio Frequency Identification) 등을 이용한 다양한 기술과 알고리즘이 존재한다[4, 5]. 통신이 잘되지 않는 장애 영역 또는 통신 불량 지점을 우회하는 바이패스 기술 또한 존재한다[6]. 하지만 알루미늄/철판으로 이루어진 격벽에서 전파가 쉽게 통과하지 못하며, 해상파에 의해 병진운동과 회전운동, 선체의 충격에 의한 진동이 발생하는 Slamming 및 유체의 자유 표면이 요동치는 Sloshing 등이 발생하여 위치정보를 서버로 전달하는 방법은 매우 어렵다. Fig. 1은 선박 내부의 배치도로 통로가 협소하고 객실이 밀집되어 있음을 알 수 있다.

조선해양 분야에 있어서 안전 문제는 선박 또는 해양 플랜트의 건조 중 사고에 국한된 문제가 아니므로, 진수 이후 운항 중 또는 선박 수리 중의 사고 대책도 필요하다. 해외에서는 덩위터 호라이즌호 기름 유출 사고와 같은 초대형 사고가 일어난 바 있고, 국내에서는 세월호 참사와 같은 대형 사고가 있었다. 이후에도 크고 작은 선박사고는 끊임없이 이어지고 있으며, 최근에도 스틸라 데이지호 침몰사고와 같은 일이 발생하였다.

선박 내에서 통신이 제대로 이루어지지 않음에도 불구하고 위치 측위에 대한 연구가 지속적으로 연구되는 이유는 승선자에 대한 인명사고가 끊임없이 발생되고 있기 때문이며, 선박 진수 이후의 선원/승선자 안전 및 화물의 관리를 위한 ICT 융합 기술 및 서비스 개발이 반드시 필요하다.

본 연구에서는 해상에서만 뿐만 아니라 선박 내부에

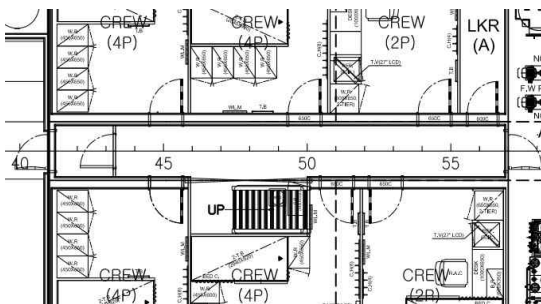


Fig. 1. Part of onboard arrangement.

서도 무선 통신으로 사람의 위치를 찾기 위하여 저전력 장거리 통신을 이용한 알루미늄/철판 격벽 사이의 수신율을 확인하고자 하였다. 실제 선박에서는 격벽이 존재하더라도 산소가 통하는 공간과 통신이 우회할 수 있는 경로가 존재하기 때문에 두께와 재질이 동일한 알루미늄 합체를 제작하여 완전히 차폐된 상태에서 테스트를 진행하였다.

## 2. 선내 무선통신 기반 실험

선내 위치 기반 서비스를 위한 다양한 무선통신 기술이 적용되어왔다. 대표적인 근거리 무선통신 기술로는 RFID와 WiFi, UWB 등이 있으나, 통신 거리가 짧기 때문에 다수의 수신기를 설치해야 하고, 다른 무선통신에 방해줄 수 있는 단점이 있다.

선박 내부에서 무선 통신 수신율을 측정하기 위한 기초 실험으로 선실 문은 철로 이루어져 있으나 문의 표면은 부드러운 재질의 재료로 마감되어 있는 환경에서 Zigbee를 이용한 실험을 한 문헌상의 사례가 있다. Zigbee는 2.4GHz의 무선 주파수 대역을 사용하지만 WiFi, Bluetooth와 동일한 주파수를 사용하므로 간섭을 피하기 위하여 유럽에는 868MHz, 미국에서는 915MHz 대역으로도 사용된다. 패킷은 10 byte의 데이터를 100개 송신하고 다른 Zigbee 수신기를 이용하여 수신율뿐만 아니라 RSSI(Received Signal Strength Indication)도 같이 측정하였다. 개방된 환경의 1m 거리에서는 98~100% 수신율을 보였고, RSSI는 -27~30dBm이 측정되었다. 8m 거리로 이격 시켰을 경우 수신율은 76%, RSSI는 -37 dbm으로 수신율이 점점 낮아지는 현상이 있다. 계단으로 수직 3m의 사관 갑판과 주 갑판 사이에 철문을 폐쇄한 상태 측정된 수신율 63%, RSSI는 -46 dbm으로 측정되었다[7].

다른 문헌에 따르면, 선박 특성을 고려하여 향상된 e-Zigbee(enhanced-Zigbee)를 이용한 실선 테스트가 있다. 선내 LOS(Line of Sight)가 확보되고, 장애물이 없는 경우 신호의 세기가 우수하지만 15m 지점에서부터는 점점 약해지는 현상이 있다. 주 갑판의 철문을 닫을 경우 신호의 세기가 1m까지는 양호하지만 2~5 m에서는 80~90 dBm으로 매우 약해지는 것으로 확인되었다[8].

본 연구에서는 저전력 장거리 무선통신 기술 중

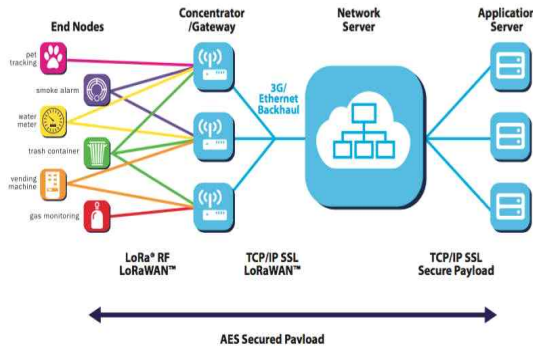


Fig. 2. LoRaWAN system configuration.

하나인 LoRa를 이용하여 알루미늄 격벽의 통신 특성을 분석하였다. LoRa(Long Range)는 저전력 장거리 통신으로 범위가 11km 이내이며, 917~923.5 Mhz의 비면허 대역을 사용하는 독자 규격의 무선 칩 기술이다. 또한 재전송 기법인 ADR(Adaptive Data Rate), 보안 및 인증을 하는 기법인 OTAA(On-The-Air-Activation) 등이 LoRaWAN Stack에 구현되어 있어 신뢰적인 LPWAN(Low-Power Wide Area Network) 운용 기술로 손꼽히고 있다[9]. Fig. 2는 LoRaWAN의 시스템 구성도를 보여준다. LoRa 물리 계층에 기인한 네트워크 스택으로 스타 네트워크 토폴로지가 가능하고, 네트워크의 배포 및 유지 관리를 간소화할 수 있다. 원시 최대 데이터 전송 속도가 27kbps이고 FSK를 사용하는 경우 50kbps를 보장하며, 하나의 Gateway가 몇 킬로미터 떨어진 수천 개의 노드에서 데이터를 수집할 수 있다[10]. 따라서 LoRaWAN을 이용한 위치측위 시스템은 연근안 뿐만 아니라 망망대해에서도 승선자가 조난을 당했을 경우에 빠르게 대처할 수 있을 뿐만 아니라 선박이 침몰 하는 상황에서도 사람의 위치를 빠르게 찾아 구조할 수 있는 통신 방법이 될 수 있다.

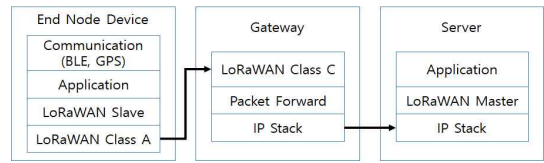


Fig. 3. Communication structure of positioning data on the ship.

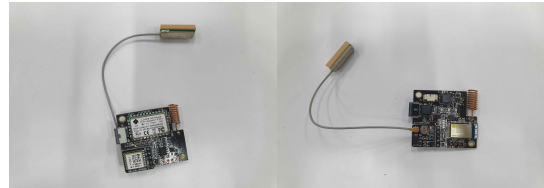


Fig. 4. Implemented End-node Device module.

### 3. 시스템 구성

구현된 시스템으로 선박에서의 위치 측위 구조를 Fig. 3에 나타내었다. 선박은 GPS 정보를 수신 받고 선내의 경우 Beacon 정보를 사용자 및 화물 End-node Device에서 수신 받아 LoRaWAN을 이용하여 선내에 설치되어 있는 Gateway로 정보를 전송한다. Gateway는 LoRaWAN을 이용하여 End-node Device로부터 수신된 정보를 서버로 전달하는 역할을 하며, 서버는 LoRaWAN 보안 기법에 따라 등록된 장치일 경우 데이터를 수신 받게 되고 등록되지 않은 장치는 허가하지 않는다.

End-node Device와 Gateway, 서버로 구성된 시스템에서, End-node Device의 신호는 8초 간격으로 데이터를 전송하였다. End-node Device에서 Gateway로 전송되는 정보는 End-node Device의 ‘무선/Rf 수신 신호 세기’인 RSSI와 ‘신호 대 잡음비’인 SNR이다. Gateway는 End-node Device에서 전송된 LoRa 신호를 수신하여 서버에 Ethernet으로 전송한다.

Table 1. End-node device configuration

|               |              |                               |
|---------------|--------------|-------------------------------|
|               | CPU          | Nordic Semiconductor nRF52832 |
| Communication | Bluetooth    | Bluetooth 4.2                 |
|               | LoRa(SX1276) | 433Mhz, 900Mhz band support   |
|               | Interfaces   | UART×1, GPIO×4                |
|               | Power        | 230mAh Li-Ion polymer battery |
|               | Attachment   | LCD Display, GPS              |



Fig. 5. To open the aluminum box (Left), closed the aluminum box (Right).

End-node Device의 사양은 Table 1과 같으며 End-node Device 모듈은 Fig. 4와 같이 구현하였다. 전송되는 LoRaWAN의 Power Level은 20 dBm, 신호의 확산 인자는 SF7, 주파수는 대한민국 무선설비 규칙에 따라 920~922 Mhz로 설정하였다. End-node Device의 데이터를 수신 받는 Gateway의 LoRa 통신 모듈은 8개의 멀티채널로 이루어진 Semtech 사의 SX1301 모듈로 Sensitivity는 -139 dBm이다.

4. 실험 환경

선내 격벽 통과 실험은 완전한 차폐가 되도록, Fig. 5와 같이 개방된 공간에서의 테스트와 알루미늄 합체 안에 End-node Device를 넣고 뚜껑을 열은 채로 테스트, 알루미늄 합체 안에 End-node Device를 넣은 채로 봉인하여 6M 거리를 유지한 상태로 테스트를 진행하였다. 크기는 30×30 cm의 6/8T와 50×50 cm의 6T로 총 3개의 합체를 제작하였고, F'CLE(선원 선실), NAV. BRIDGE(조타실)이 알루미늄으로 제작된 선박을 고려하였다. 또한 Skylab 사의 Beacon을 이용하여 차폐된 상태에서의 LoRaWAN 통신 거리별 수신 감도에 따른 수신율을 확인하였다.

Fig. 6은 LoRaWAN Confirmed 방식으로 전송했을 경우 Acknowledge를 수신하지 못하면 재전송하는

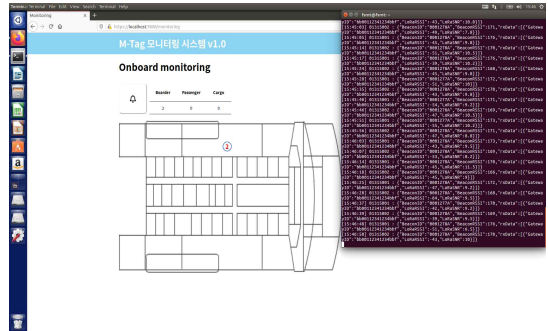


Fig. 7. Collection of location data.

는 기법을 나타낸 그림이다. 서버는 LoRaWAN Specification에 따라 ADR(Adaptive Data Rate) 동작을 하며, Confirmed up 메시지가 2회 재전송하였음에도 불구하고 Acknowledge를 수신 받지 못한다면 Data Rate를 한 단계 낮춰 재전송한다. Data Rate가 최소 단계에 도달하면 더 이상 낮춰지지 않으며, Confirmed UP 메시지의 재전송 횟수는 서비스 요구 사항에 따라 설정할 수 있으나, 기본적으로 설정되어 있는 최초 전송을 포함한 8회로 설정하였다.

실험에 대한 데이터는 위치 측위 모니터링과 서버의 Log를 이용하여 확인하였다. Fig. 7은 구현된 서버와 Log를 확인하는 그림으로 실험에 대한 데이터를 실시간으로 확인하며 진행하였다.

5. 실험 결과

격벽 투과 시 신호의 감쇄 정도를 Fig. 8에 나타내었다. 그림의 Open은 개방된 환경에서의 RSSI이고, 선내에서 문이 열려있을 경우를 가정하여 6T 합체를 개방한 상태에 대한 RSSI도 수집하였다. 차폐된 환경에서는 알루미늄 격벽이 한 개인 경우의 실험과

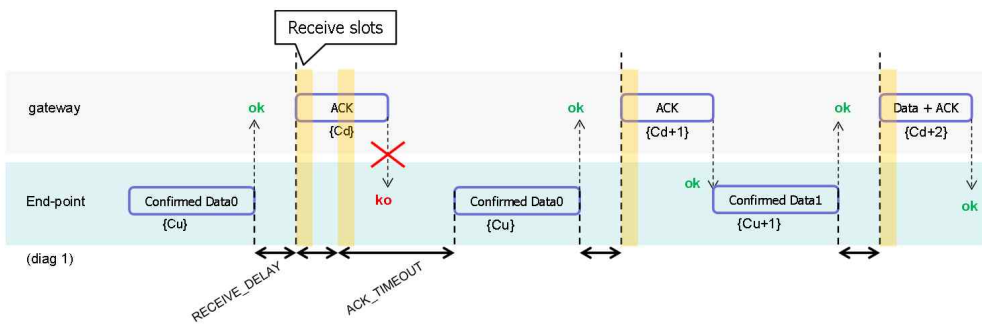


Fig. 6. Uplink timing diagram for confirmed data messages.

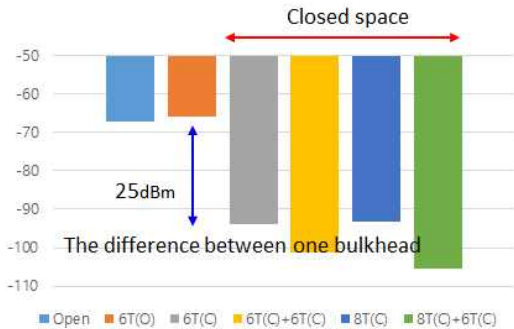


Fig. 8. Attenuation level when passing through bulkhead.

두 개 이상의 격벽을 통과하였을 때의 RSSI를 비교하기 위하여 측정하였다. Gateway와 End-node Device의 간격이 6 m일 경우 알루미늄 철판의 두께와 무관함을 보였으나, 수신율에 있어서는 다소 차이가 있었다.

개방된 공간에서 실험을 진행하였을 경우 End-node Device가 LoRaWAN을 통하여 보낸 데이터를 Gateway가 모두 수신하였고, 수신 세기는 -67.29 dBm, 표준편차 2.89로 양호하였다. 알루미늄 합체의 뚜껑을 열고 실험한 경우 개방된 환경과 마찬가지로 데이터를 모두 수신하였고, 유사한 수신 세기와 표준편차를 얻을 수 있었다. 알루미늄 합체의 뚜껑을 닫고 측정하였을 때는 수신 세기가 -90 dBm 이하로 낮게 측정되고, 8T + 6T 합체의 경우 Table 2의 결과와 같이 96.4%로 수신율이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

격벽을 통과한 LoRaWAN의 데이터가 어느 정도 거리까지 수신되는지 확인하기 위하여 10 m/20 m/30 m 간격으로 1시간 이상 데이터를 수신하였다. 개방된 환경에서 수신된 데이터의 CRC(cyclic redundancy check)는 BAD에 대한 데이터를 포함하였으나,

Table 2. Success rate of transfer during bulkhead penetration

| Experiment method | Receive/Send(Reception) |
|-------------------|-------------------------|
| Open              | 536/536(100%)           |
| 6T(O)             | 524/524(100%)           |
| 6T(C)             | 503/503(100%)           |
| 6T(C)+6T(C)       | 534/534(100%)           |
| 8T(C)             | 522/529(98.4%)          |
| 8T(C)+6T(C)       | 562/583(96.4%)          |

LoRaWAN 재전송 기법에 의하여 모든 데이터가 정상 수신되었음을 확인할 수 있었다. 하지만 6 m 거리에서 100% 수신율을 보인 6T(C)와 6T(C)+6T(C)의 경우 거리가 멀어짐에 따라 RSSI와 상관없이 수신율이 급격히 떨어지는 현상을 볼 수 있었고, 8T 합체는 10 m 이상 멀어지면 통신이 제대로 이루어지지 않음을 확인할 수 있었다.

격벽을 통과한 신호는 거리가 멀어짐에 따라 수신 감도가 급격히 떨어지지 않고 서서히 떨어지게 되며, 이는 앞서 언급한 RSSI를 이용한 위치 추정 방법의 구별력이 낮아지는 특징으로 볼 수 있다. Fig. 9와

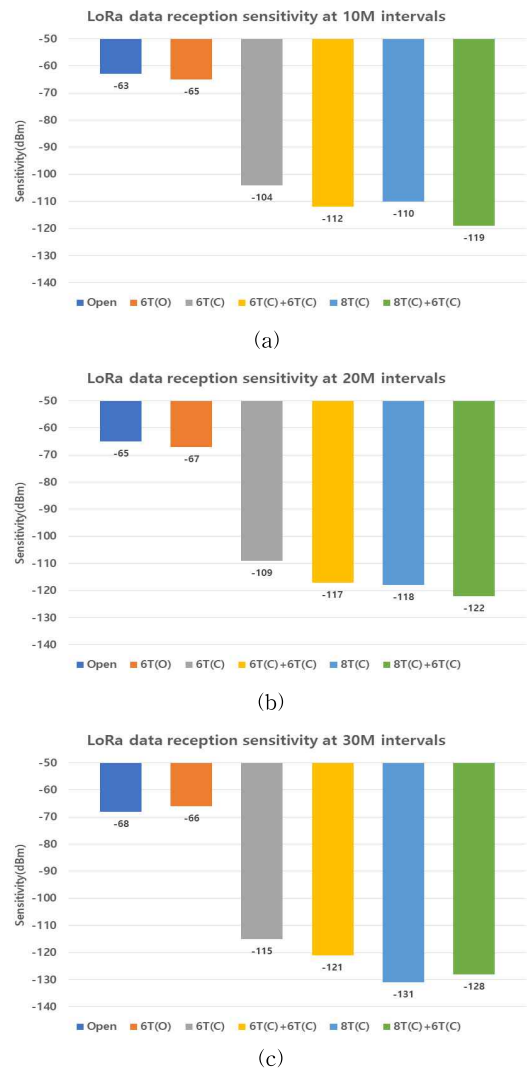


Fig. 9. LoRa data reception sensitivity, (a) 10 M intervals, (b) 20M intervals, and (c) 30M intervals.

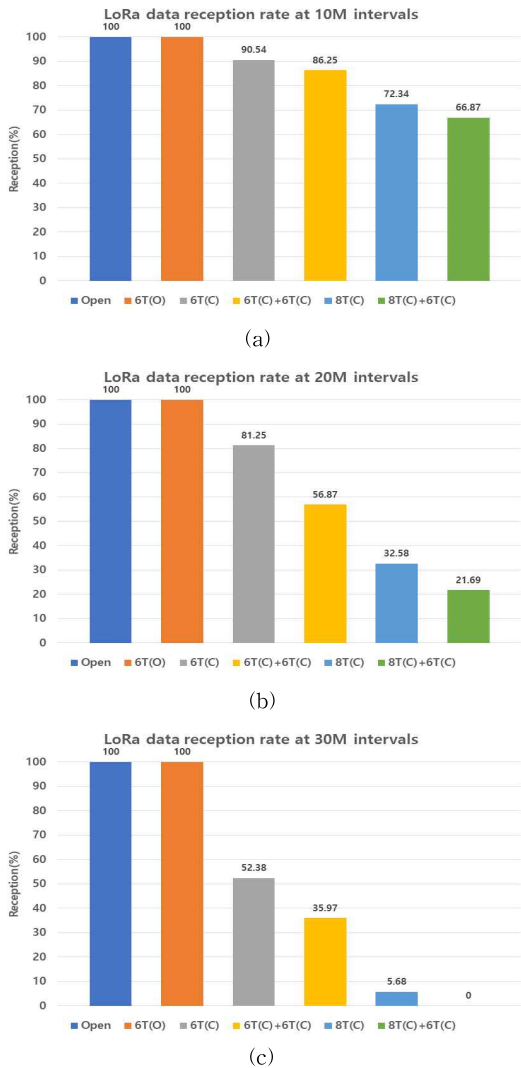


Fig. 10. LoRa data reception rate, (a) 10M intervals, (b) 20M intervals, and (c) 30M intervals.

Fig. 10을 보면 수신 감도가 -110 dBm 이하로 떨어졌을 경우 수신율이 급격히 떨어지는 현상을 볼 수 있는데, -122 dBm 이하로 수신되는 데이터는 CRC 확인 여부에서 모두 BAD로 수신되었다. 30 M 거리에서의 8T 합체는 511개의 데이터 중 29개만을 정상 수신하며 통신이 대부분 이루어지지 않음을 확인할 수 있었고, 8T(C)+6T(C)는 송신한 데이터 523개 중 CRC\_BAD에 해당하는 데이터 47개를 수신하여 통신이 되지 않음을 확인할 수 있었다.

## 6. 결 론

실제 선내에서 사용되는 알루미늄/철판을 이용하여 LoRaWAN 통신이 가능한지 실험해 보았다. 알루미늄/철판으로 이루어진 합체를 오픈한 상태에서의 수신 세기는 개방된 공간에서 측정한 결과와 유사하였다. 6 m 거리에서 알루미늄/철판으로 이루어진 합체를 닫은 상태에서 측정한 경우 다소 낮은 수신 세기를 보였으나 90% 이상의 높은 수신율을 보였다. 반면 합체가 닫힌 상태에서 거리를 점차적으로 이격시켜 데이터를 측정한 경우 6T 합체는 20 m 지점까지 80%의 수신율을 보였으나 6T(C)+6T(C), 8T(C), 8T(C)+6T(C)의 합체는 20m 지점 이후에 수신율이 급격히 떨어지는 현상을 확인할 수 있었다.

본 실험을 통하여 LoRaWAN을 이용한 통신이 선내 알루미늄 격벽을 투과하는 정도를 확인할 수 있었다. 선박 내부에서 장비의 설치 공간과 비용적인 측면에서 매우 중요한 요소 중 하나다. 정확도가 높은 실내 위치 측위 기술을 융합하여 선내에 적용한다면 효율적인 위치 측위가 가능할 것으로 예상된다.

## REFERENCE

[ 1 ] I.S. Chang, "A Study on the Effective Safety Management Measures for the Prevention of Marine Accidents," *Journal of the Korea Society of Marine Environment and Safety*, Vol. 15, No. 1, pp. 33-39, 2009.

[ 2 ] K.G. Lee and J.H. Park, "E-navigation and Marine Communication Fusion Technology," *The Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 30, No. 10, pp. 46-52, 2013.

[ 3 ] S.G. Kim, *A Study on Configuration of Communication Network for Coast Station and Operation Improvement According to Instruction of GMDSS*, Master's Thesis of Korea Maritime and Ocean University, 2002.

[ 4 ] S.W. Lee and S.W. Kim, "Indoor Positioning Technology Trends and Forecasts," *The Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 32, No. 2, pp. 81-88, 2015.

[ 5 ] B.K. Kim and W.G. Hong, "Location Position-

ing System Based on K-NN for Sensor Networks,” *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 15, No. 9, pp. 1112-1125, 2012.

[ 6 ] H.I. Jun, H.S. Kim, K.S. Jung, and K.R. Sohn, “Development of Bypass Unit for Ship Area Network Based on Legacy-line Communication,” *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 39, No. 3, pp. 292-297, 2015.

[ 7 ] B.G. Paik, S.R. Cho, B.J. Park, I.S. Cho, D.L. Lee, J.H. Yun, et al., “Experimental Tests on the Wireless Sensor Network and the Power-line Communication in a Real Ship and Laboratory,” *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 45, No. 3, pp. 329-336, 2008.

[ 8 ] S.B. Lee, D.H. Kang, J.H. Lee, J.C. Lee, Y.H. Kim, S.S. Lee, et al., “Positioning Testbed Implementation for Performance Evaluation of Ship Wireless Network,” *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 41, No. 4, pp. 353-361, 2017.

[ 9 ] T. Joël, N.E. Rachkidy, and A. Guitton, “Performance Analysis of the on the Air Activation in LoRaWAN,” *Proceeding of 2016 IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference*, pp. 1-7, 2016.

[10] F. Adelantado, X. Vilajosana, P.T. Peiro, B. Martinez, J.M. Seguí, T. Watteyne, et al., “Understanding the Limits of LoRaWAN,” *IEEE Communications Magazine*, Vol. 55, No. 9, pp. 34-40, 2017.



**박 문 수**

2013년 2월 신라대학교 컴퓨터교육과 학사  
 2016년 2월 부산대학교 정보컴퓨터공학부 공학석사  
 2017년 8월~현재 (주)에프에스알 엔티 팀장

관심분야 : LBS, IoT 시스템, 생체신호, 패턴분석



**오 정 수**

1989년 2월 부산대학교 산업공학과 졸업 공학사  
 1991년 2월 부산대학교 산업공학 전공 공학석사  
 1999년 2월 부산대학교 산업공학 전공 공학박사

1999년 3월 현대중공업 정보사업부 과장  
 2012년 5월 (주)씨엠지테크원 이사  
 2018년 3월~현재 (주)에프에스알엔티 이사  
 관심분야 : 조선 CIM, 선박 BMS