

# 작업현장의 안전을 위한 LoRa기반 통신의 음영지역 해소를 위한 연구

## A Study on Resolving Shadow Area of LoRa-based Communication for Workplace Safety

김승용<sup>1</sup> · 김동식<sup>2</sup> · 황인철<sup>3</sup> · 김경수<sup>4</sup> · 김경용<sup>5\*</sup>

Seungyong Kim<sup>1</sup>, Dongsik Kim<sup>2</sup>, Incheol Hwang<sup>3</sup>, Kyoungsoo Kim<sup>4</sup>, Gyoungyong Kim<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Management Information System, Korea National University of Transportation, Chungju, Republic of Korea

<sup>2</sup>Director, KCC Engineering & Construction Co., Ltd., Seoul, Republic of Korea

<sup>3</sup>Director, Secuware Inc., Cheongju, Republic of Korea

<sup>4</sup>Doctor Course, Department of Construction Safety Engineering, Kyonggi University, Suwon, Republic of Korea

<sup>5</sup>Professor, Department of Paramedic Science, Korea National University of Transportation, Jeungpyeong, Republic of Korea

\*Corresponding author: Gyoungyong Kim, 1021hk@hanmail.net

### ABSTRACT

**Purpose:** The purpose of this research is to eliminate communication shadowing loss of the 'smart safety management system'. The 'smart safety management system' can monitor and relay real time data of workers working in high risk workplace (i.e: industrial scene, disaster scene). The data will provide the rescue team the 'golden hour' in their rescue operations. **Method:** In this research, safety tag was designed and implemented so that it acts as a repeater for the user. **Result:** In other words, when communication in-between the safety tag and headquarters' communication terminal is jeopardized, the safety tag will act as a repeater-terminal for other safety tags in the area. **Conclusion:** The research tested if a specific building with communication shadowing loss problem was resolved when safety tags were implemented. Communication shadowing was first identified in-between the safety tag and headquarters' communication terminal. When extra safety tags were deployed in the same situation, the results showed that the communication shadowing loss was resolved. The repeater safety tags could resolve communication shadowing loss of up to three basement levels in this test building.

**Keywords:** Communication Shadowing, LoRa Communication Theory, Repeater, Safety Tags, High Risk Workplace

### 요약

**연구목적:** 본 연구의 목적은 '스마트 안전관리 시스템'의 통신 음영지역을 해소하는 것이다. '스마트 안전관리 시스템'은 고위험 작업장(산업현장, 재난현장)에서 일하는 근로자의 실시간 데이터를 모니터링 하고 중계할 수 있다. 데이터는 구조팀에게 구조작업 시 '골든 타임'을 제공한다. **연구방법:** 이 연구에서 안전 태그는 사용자의 중계기 역할을 하도록 설계 및 구현되었다. **연구결과:** 다시 말해, 안전 태그와 지휘부의 통신 구간에서 통신 음영이 생길 경우, 안전 태그는 해당 지역의 다른 안전 태그에 대한 중계기 역할을 한다. **결론:** 이 연구는 개발한 안전 태그가 통신 음영지역이 있는 특정 건물에서 통신두절 문제가 해소되는지 테스트했다. 먼저, 안전 태그와 지휘부 단말기 사이에서 통신 음영지역을 확인했다. 동일한 상황에서 추가 안전 태그를 배포한 결과 통신 음영지역이 해소된 것으로 나타났다. 중계기 역할을 하는 안전 태그는 테스트 빌딩에서 최대 지하 3층 까지 통신 음영지역을 해소할 수 있었다.

**핵심용어:** 통신음영, LoRa통신이론, 중계, 안전 태그, 고위험 작업장

Received | 18 March, 2020

Revised | 18 March, 2020

Accepted | 30 April, 2020

 OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

## 서론

재난의 대형화, 다빈도화와 더불어 재난 발생 장소가 다양하고 예측이 어려워지고 있다. 이러한 재난의 특성에 따라 산업 현장의 고위험 근로자 및 재난현장의 소방대원 등에 대한 안전이 불확실해지고 있다.

2017년 통계청 조사에 따르면 최근 5년간 화재진압, 구조, 구급, 교육훈련 등의 활동에서 공상자 2,024명, 순직자 16명이 발생하였으며 매년 증가 추세를 보이고 있다(e-National Index; Statistics Korea, 2017). 산업현장에서도 재해의 발생빈도나 형태가 다양화, 대형화되고 있어 현장에 투입되는 작업자의 안전확보가 중요해지고 있다(Kim et al., 2016).

통계청의 2018년 경제활동인구조사(EAPS; Economically Active Population Survey)에 따르면 건설산업을 비롯한 많은 위험요소가 내재된 산업에서 근무하는 55세 이상 장년층은 96만명으로 2013년도에 대비하여 33% 증가하였다(Korean Statistical Information Service, 2018). 재해발생 건수도 매년 기록을 갱신하고 있으며 2017년 통계청 산업재해통계에 따르면 50세 이상의 재해자 비율은 전체 작업자 재해자 중 57.5%를 차지하고 있으며, 사망자 비율 또한 70.6%로 재해빈도가 높고 사망자 수는 전년 대비하여 105.6% 증가하였다(Statistics Korea, 2017).

이러한 인명피해를 줄이고자 소방에서는 소방대원들에게 ‘인명구조경보기’를 착용하여 업무를 하도록 하고 있으나, 건물, 터널, 지하공동 등 재난현장 내에서 발생한 위험 상황에 대하여 현장지휘부에서 실시간으로 파악하지 못하는 한계를 가지고 있다. 건설 등 산업현장에서도 작업자의 안전을 위한 다양한 시도가 진행되고 있으나 실효성 있는 성과를 내지 못하고 있다.

저자는 재난현장에 투입된 작업자의 안전을 확보하기 위하여 저전력, 저비용 사물인터넷 기술인 LoRa (Long Range) 기반의 안전태그를 개발하여 고위험 작업장에서의 작업자 안전에 관한 연구를 진행한 바 있다. 안전태그는 투입인력의 부동 상태를 감지하여 일정 시간 이상 연속적으로 부동 상태를 유지하면 자동으로 비상 신호를 현장지휘부로 발신하고, 현장지휘부 단말기(LoRa Gateway)는 발신된 위험신호를 수신하여 비상상태의 요구조자를 식별할 수 있다. 이를 통해 신속하게 구조작업을 수행하여 인명구조를 위한 골든아워를 확보할 수 있는 ‘스마트 안전관리 시스템’에 대한 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 건물의 대형화 및 복잡한 내부 구조에서 ‘스마트 안전관리 시스템’을 운영 시 안전태그의 비상신호를 안정적으로 현장지휘부로 전송할 수 있도록 하기 위해 LoRa 무선통신의 음영지역을 최소화할 수 있도록 제작한 ‘스마트 안전관리 시스템’의 성능에 대하여 분석하였다.

## 이론적 배경

### LoRa 통신의 특징

4차 산업혁명의 한 부분을 차지하는 사물 인터넷에 대한 관심이 높아지고 있으며, 사물 인터넷 중 가장 작은 단위의 데이터를 생산하고 처리하는 센서들을 소물 인터넷(Internet of Small Things)라고 한다. 이러한 소물 인터넷에 최적화된 무선 네트워크 기술을 LPWA (Low Power Wide Area)라 한다. LPWA의 무선 기술로는 Sigfox, LoRa, NB-IoT, Cat-M1 등이 새롭게 시장에 소개되었다.

LoRaWAN (LoRa Wide Area Network)은 LoRa 기술을 하위 물리계층으로 사용하여 인터넷 네트워킹을 하기 위한 프로토콜로 디바이스와 게이트웨이 그리고 서버와의 통신 규약을 정의하고 있다.

LoRa 네트워크에서 동작하는 기기는 ISM 주파수 사용 규정에 따라 기기 출력이 10~25 mW 이상을 넘지 않는다. 이로 인해 전체 데이터 소비 수준이 감소하고 기기 배터리 수명이 평균 9~10년으로 향상된다. 이 수치는 LTE Cat-M (2년 미만) 및 협대역(8년 미만) 기기의 배터리 성능보다 훨씬 높다.

LoRa 네트워크의 ADR (Adaptive Data Rates)는 통신사업자가 선택하는 데 있어 매우 필요한 유연성을 제공한다. LPWAN 프로토콜은 데이터 전송 속도가 0.3 Kbps~50 Kbps 범위에서 동작한다. ADR은 개별 기기 별로 적용되는 특정 알고리즘을 사용해 네트워크 서버가 관리한다. 결과적으로 전체 네트워크 용량이 최적으로 활용되고 LoRa 구현이 훨씬 쉽고 효율적으로 되고, 기기 배터리 수명이 한층 증가한다.

LoRa 기술의 가장 큰 장점 중 하나는 도시 및 농촌을 비롯한 모든 유형의 환경에서 끊임없이 원활하게 사용할 수 있다는 점이다. 실제로 농촌·준도시 지역에서는 LoRa 네트워크의 커버리지가 15~18 Km에 달하며 도시에서도 10 Km가 넘는다. 결과적으로 단지 몇 개의 LoRa 기지국 설치만으로도 도시 전체를 커버할 수 있어 '스마트 도시' 조성이 용이해진다. 예를 들어, 벨기에 거의 전체 (9/10)를 커버하는 데는 360개 기지국, 스위스 전체를 커버하는 데는 250개 기지국, 네덜란드의 경우 500개 기지국으로 충분하다.

일반적으로 LPWAN 중 특히 LoRaWAN 표준은 틈새시장의 서비스를 공략한다. 이는 LPWAN의 경쟁 기술 대부분이 제공할 수 없는 서비스이다. Zigbee, Bluetooth 및 WiFi 같은 무선 기술은 일반적으로 근거리에서 동작하며 짧은 커버리지를 요구하는 애플리케이션에만 사용할 수 있다. 반면에 NB-IoT와 같은 셀룰러 기술은 보다 강력하고 빠른 데이터 전송을 제공하지만 LoRa 보다 훨씬 더 비싸다. 비용 차이는 이러한 셀룰러 기술을 업그레이드할 필요성을 고려하면 더욱 두드러진다. 저 전력, 장거리 IoT 네트워크로는 LoRa가 가장 실용적이다.

LoRa 네트워크 프로토콜을 구현하려면 advanced LoRa 게이트웨이 및 컨센트레이터(concentrators)가 필요하다. 초기에는 이러한 비용이 추가 비용인 것처럼 보일 수 있지만 게이트웨이는 매우 경쟁력 있는 가격으로 책정된다. 또한 무선 칩셋 가격은 2달러 미만이며, 통신업체가 지불해야 할 연간 가입비는 기기 당 1달러에 불과하다. 막대한 선행 투자가 필요 없고 전반적인 비즈니스 위험 요소를 크게 완화시킨다.

LoRa는 좁은 대역폭 및 비면허 주파수 대역에서 동작한다. 결과적으로, 이 기술은 낮은 매우 낮은 데이터 전송 및 데이터 변동 가능성이 있는 IoT 사용 사례에 이상적이다. 다시 말해, LoRa 기술의 좁은 대역폭 요구사항은 최종 사용자에게 '정보 전달' 만 하는 IoT 기기에 딱 들어맞는다. 비면허 주파수 스펙트럼을 사용하므로 수수료나 면허 비용도 들지 않는다.

전통적인 메시 구조 대신 LoRa 설치하는 'star-of-stars 토폴로지'를 따르므로 통신사업자가 손쉽게 설치하고 확장할 수 있다. 네트워크 구조는 오류 가능성이 거의 없으며 구현 비용이 많이 들지 않는다. 무엇보다, 수천 노드·기기가 하나의 게이트웨이와 연결될 수 있어 관리 관련 부담이 적다. LoRa 인프라의 물리 계층에서 사용되는 'Chip Spread Spectrum'(CSS)은 송신기 전력을 낮추면서 무선 주파수(RF) 링크 버짓을 일정하게 유지하여 더 높은 배터리 성능을 얻을 수 있다.

LoRa와 Sigfox는 모두 개방형 표준이지만 LoRa가 IoT 솔루션 공급자에게 더 큰 장점과 더 나은 적용성을 제공한다. 우선, LoRa 대역폭이 Sigfox 보다 넓으면서 전송할 수 있는 메시지의 수 역시 훨씬 많다. 단일 사설 기관이 유지 관리하는 Sigfox와 달리 LoRa 프레임워크는 400 회원을 거느린 강력한 LoRa Alliance가 유지 관리하므로 필요한 경우 백엔드 수정을 보다 쉽고 신속하게 할 수 있다. LoRa 생태계 또한 강력하며 개방형 혁신에 대해 이상적이다. 네트워크 IP는 타사 벤더에게 라이선스를 부여할 수 있다. 개방형 IoT 표준이므로 LoRa는 응용프로그램 간에 원활한 상호 작용을 지원하며 또한 신속하게 배포할 수 있다.

우수한 무선 IoT 표준으로 꼽히기 위해서는 솔루션의 확장성이 필요하다. LoRaWAN은 이 점에서 큰 점수를 받는다. 최종 어플리케이션의 정확한 요구사항에 따라 LoRa 기기의 커버리지는 2~3 Km에서 12~15 Km까지 다양하다. 이 가변성의 대표적인 예로, 상용으로 사용가능한 Micro Cell 및 Macro Cell 게이트웨이를 꼽을 수 있다. 또한 네트워크는 최첨단 AES-128 암호화 표준을 통해 100% 데이터 무결성 및 보안을 보장한다. LoRa 엔드 노드의 서비스는 가상 사설망(VPNs)의 서비스와 비슷하여, 앱 서버와 네트워크 노드 간에 전달되는 모든 데이터가 암호화된다. LoRa 기술은 최고 수준의 보안, 안정성 및 확장성으로 통신업계에 훌륭한 도구로 떠오르고 있다.

Bluetooth 또는 WiFi와 비교하여 LoRa 네트워크의 성능은 간섭에 의한 영향이 훨씬 적다. 이 장점은 LoRa가 비면허 sub-gigaHz 주파수 스펙트럼에서 작동하기 때문이다. 이들 스펙트럼에서는 초저전력으로도 다양한 종류의 장애물(다른 말로 하자면 2.4 GHz에서의 WiFi 기능들)을 통해 데이터를 원활하게 통과시킬 수 있다. LoRaWAN 구조에서 사용되는 칩 및 센서 역시 확산 스펙트럼 방식에 의해 보다 뛰어난 적응성과 최적화된 데이터 교환을 제공한다.

서로 다른 IoT 어플리케이션은 기능이 다르므로 다양한 능력이 필요하다. 실질적으로 모든 유형의 최종 어플리케이션의 호환성을 보장하기 위해 LoRa 모듈은 양방향 통신을 지원한다. 지원되는 통신 형태에 따라, LoRa 기기는 3개 클래스로 분류된다.

- a) Class A 기기 - ALOHA 프로토콜을 따르며, 모든 상향 링크 전송 후 2개의 작은 하향 윈도우를 갖는다,
- b) Class B 기기 - 추가적인 '수신 윈도우'를 열기 위해 LoRa 게이트웨이로부터 동기화된 비콘을 수신한다,
- c) Class C 기기 - 전송 중일 때를 제외하고 '수신 윈도우'를 계속 열어놓는다.

벨기에, 네덜란드, 한국, 호주, 중국, 인도 등 여러 국가의 통신업계가 LoRa 기술을 구현하기 시작했다(개방형 LoRa 구현). 이 LPWAN 틀을 사용하는 이유는 매우 간단하다. LoRa를 사용하면 스마트 주차 슬롯, 공공 조명 및 폐기물 관리 도구, 커넥티드 카 지원, 홈 오토메이션, 물 및 오염 계량기, 예측 유지 보수 센서 및 심지어 도시 드론에 이르기까지 광범위한 IoT 어플리케이션을 만들 수 있다. 도시의 중단간 커버리지(광역, 저전력, 간헐적인 데이터 전송용)에는 LoRa가 최상의 솔루션인 것이다.

## LoRa 통신의 성능 개선 고찰

Lim et al.(2017)의 연구에 따르면 다양한 환경에서 LoRa의 물리적인 통신 성능을 평가한 결과, 성능은 최대 수신 허용 감도 내에서 주변 환경에 영향을 미치며 거리가 멀어질수록 환경은 더 큰 작용을 한다고 하였다. 또한 LoRa 규격 문서에는 대역폭이 낮을수록, 확산인자가 높을수록 수신 감도가 더 높아 장거리 통신이 가능하다고 하였으나, 실험을 바탕으로 한 결과에서는 특정 시간대에 발생한 알 수 없는 변수들로 인해 규격서에 명시된 성능이 늘 일정하지만은 않다고 하였다.

Lee et al.(2019)은 'LoRa 네트워크의 전송거리 개선에 관한 연구'에서 LoRa 네트워크의 전송거리에 영향을 미치는 요소를 분석하고, LoRa 네트워크의 전송거리 개선기법을 연구한 결과, 확산계수의 크기에 따라 수신감도가 좋아지게 되며 데이터의 전송 거리가 개선되는 것을 알 수 있었다.

두 연구에서 확산계수에 따라 LoRa 네트워크의 전송거리가 증가되는 것으로 나타나고 있지만 여러 가지 환경변수에 의해 일정한 신뢰수준을 확보하지 못하기 때문에 LoRa 네트워크의 음영지역을 해소하기 위한 연구가 필요하다.

## 실험설계

본 연구에서 사용한 ‘스마트 안전관리 시스템’은 저전력 무선통신 기술인 LoRa 통신기술 중 비면허대역의 주파수를 사용하고 있다. 해당 시스템의 안전태그는 작업자의 부동 상태를 자동으로 감지하여 30초 동안 부동 상태가 유지되면 예비 알람을 울리고, 추가로 10초 동안 부동 상태가 유지되어 총 40초의 부동 상태가 감지되면 비상 알람을 울린다. 비상 알람과 동시에 해당 안전태그의 식별정보와 상태 정보를 현장지휘부의 단말기로 전송한다. 현장지휘부의 단말기는 LoRa Gateway가 내장되어 있어 비상 상태의 안전태그가 송출하는 비상 신호를 수신하고, 수신된 데이터를 파싱하여 해당 작업자가 누구인지 현장지휘부 단말기에 표출한다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 현장지휘부 단말기는 고위험 작업장에 투입된 작업자의 상태 정보(대기, 작동, 비상)를 실시간 모니터링하며, 원격지의 관제센터로 전송하여 다중 모니터링할 수 있도록 한다. 한편 지휘부 단말기에는 작업자에게 집결 또는 비상 탈출 명령을 전송하여 고위험 작업장에서 작업자가 매몰되는 등의 사고를 사전에 예방할 수 있는 기능을 포함하고 있다.



Fig. 1. Smart safety management system diagram

본 시스템에 관한 선행연구에서는 안전 태그 및 현장지휘부 단말기의 기능구현과 검증을 위한 실험을 수행했다. 실험을 통해 위에 적시한 모든 기능이 구현되는 것을 확인할 수 있었다.

그러나 실험대상 건축물의 지하층 및 복잡한 내부 구조를 갖는 환경에서는 통신이 단절되거나 신호가 늦게 도착하는 등의 통신 음영지역이 발생하는 것을 발견하였다. 이는 작업자의 안전확보에 매우 심각한 이슈 사항으로, 비상 상태의 작업자를 실시간 확인할 수 없어 골든아워 내 구조작업이 불가능한 상황이 발생할 수 있다.

과거 유사 시스템을 도입한 경험이 있는 소방본부에서도 통신 음영지역에 대한 이슈로 인해 사업이 실효성을 거두지 못하고 실패한 사례가 있다. 이러한 통신 음영지역을 해소하기 위해 재난현장에 별도의 중계기를 투척하거나 소방호스에 중계기를 부착하는 등의 연구가 진행되었다. 그러나 화재 등 다양한 통신 저감 요인들로 인해 실효성의 한계로 재난현장에 적용되지 못한 실정이다.

본 연구에서는 이러한 통신 음영지역을 해소하기 위한 방안으로 기존 연구와 달리 안전태그 자체가 중계기 역할을 할 수 있도록 하였다. 통신 음영지역에서 안전태그가 발신한 비상 신호를 인접한 안전태그가 받아 현장지휘부로 전달할 수 있는 알고리즘을 개발하여 안전태그 내 펌웨어로 구현하였다. 알고리즘을 통해 n개의 안전태그가 통신 음영지역의 비상 신호를 최적의 방법으로 전송할 수 있도록 하였다.

구현한 기술을 확인하기 위해 다음과 같은 실험방법을 설계하였다.

먼저, 테스트 장소를 선정하고 장소의 특성에 맞는 시나리오를 준비하였다. 실외-실내 간 통신, 실내-실내 간 통신으로 시나리오를 구분하였다. 지휘부 단말기 1대와 안전태그 1대를 선정하여 1초 주기로 송수신 테스트를 하여 기록하였다. 시나리오에 따라 각 구간별로 수신단말기 IMU정보와 수신 RSSI정보를 획득하여 저장하였다. 저장된 정보를 분석하여 PDR 결과와 PDR위치에 따른 RSSI값을 시각적으로 표현하였다. 현장 Map 정보와 분석된 정보를 매칭하여 최종 결과를 생성하였다.

대부분의 통신 이슈 사항이 지하층에서 발생하기 때문에 지하층이 많은 대형 복합건축물을 실험지역으로 설정하였다. 안전태그의 비상 신호를 수신하는 현장지휘부 단말기는 건물 1층의 외부에 고정하였다. 현장지휘부 단말기와 안전태그의 비상 신호, 긴급 대피 신호를 기준으로 통신 거리를 측정하여 통신 음영지역을 판별하였다. 현장지휘부 단말기와 안전태그 중간에 중계 가능한 안전태그가 있을 때 거리 확장 범위를 측정하여 건물 내부에서 안전태그 간 무선통신 성능을 측정하였다.

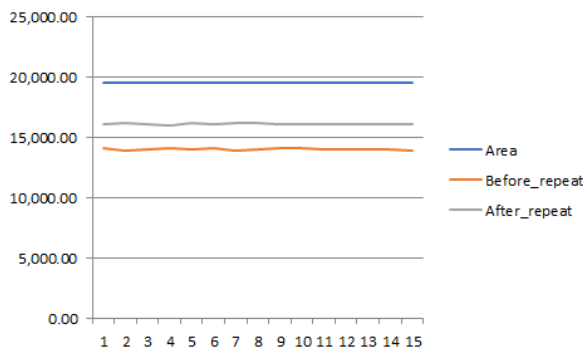
### 실험결과

리피팅의 커버리지를 확인하기 위해 지하 1층, 2층, 3층에서 각각 15번의 실험을 진행하였으며 그 결과는 Table 1에 정리되어 있다. Table 1과 Fig. 2 ~ Fig. 4를 보면 지하 1층의 통신이 지하 3층에 비해 더 안정적인 것을 볼 수 있다.

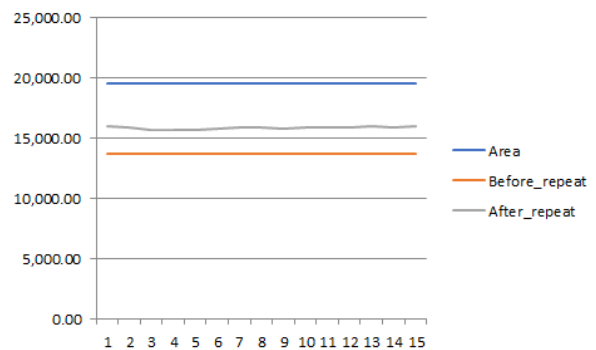
**Table 1.** Improve coverage area after repeating (Unit : m<sup>2</sup>)

	Area	Before_repeat	After_repeat	Improve_area
Basement 1	19600.95	14044.95 (13999.06~14090.84)	16133.4 (16095.38~16171.42)	2088.45 (2011.14~2165.77)
Basement 2	19600.95	13748.68 (13744.1~13753.27)	15868.1 (15806.45~15929.75)	2119.41 (2056.15~2182.67)
Basement 3	19600.95	13325.19 (13155.13~13495.26)	15451.79 (15278.48~15625.1)	2126.6 (1865.7~2387.5)

( ) 95% Confidence Interval for Mean



**Fig. 2.** Coverage for basement 1



**Fig. 3.** Coverage for basement 2

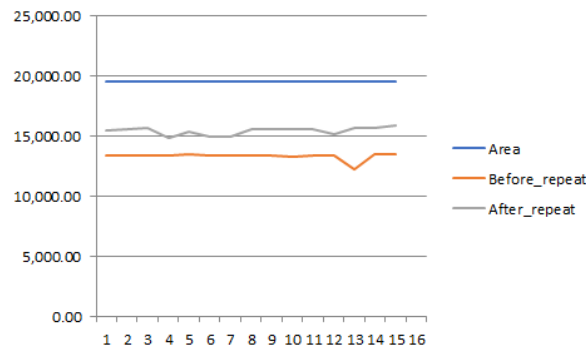
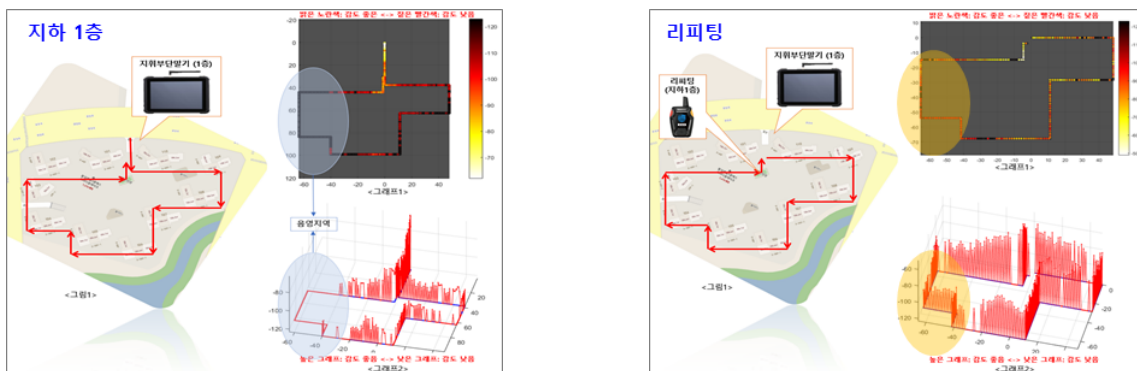
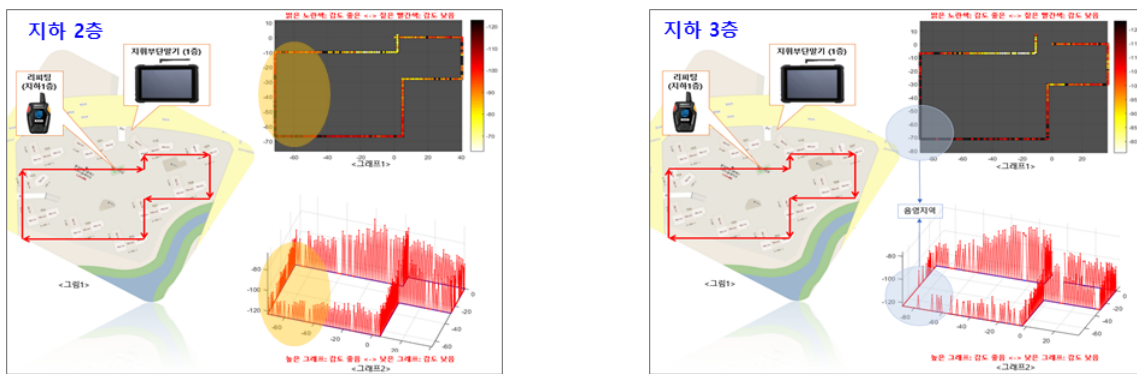


Fig. 4. Coverage for basement 3



(a) Communication status between safety tag and command terminal

(b) Repeating communication status in B1



(c) Repeating communication status in B2

(d) Repeating communication status in B3

Fig. 5. Floor communication status through repeating function of safety tag

Fig. 5의 (a)는 안전태그와 현장지휘부 단말기 사이의 직접 통신상태를 측정한 결과를 보여준다. 현장지휘부 단말기와 멀어지는 위치와 건물구조상 현장지휘부 단말기와 안전태그 사이에 벽체가 가로막고 있는 위치에서 통신이 되지 않는 음영지역으로 측정되었다. 지하 2층, 지하 3층 등 지하로 내려갈수록 통신 음영지역이 확대되는 것을 확인하였다. 이러한 위치에서는 안전태그의 비상 신호를 현장지휘부 단말기가 인식할 수 없어 비상 상태의 작업자를 골든아워 내 구조할 수 없게 된다.

Fig. 5의 (b)는 지하 1층 입구에 증계기 역할을 수행할 수 있도록 안전태그를 위치시킨 후 동일한 경로로 통신 성능을 측정

하였다. 그림에서 보는 같이 그림 (a)에서 통신 음영지역으로 측정된 지역이 모두 통신 가능한 상태로 측정되었다.

Fig. 5의(c)는 중계기 역할의 안전태그를 동일하게 유지한 상태로 지하2층에서 테스트를 수행하였다. 지하1층과 같은 구조로 되어있으며, 동일한 경로로 통신 성능을 측정한 결과 그림 (a)보다는 통신 성능이 다소 감소한 것을 보였으나 전체적으로 통신 음영지역은 없었다.

Fig. 5의(d)는 지하3층에서 동일한 경로로 통신 성능을 측정하였다. 지하2층보다 통신 성능이 확연히 떨어지는 것으로 확인할 수 있었다. 그럼에도 불구하고 중계기 역할의 안전태그가 없는 환경보다 우수한 통신 성능을 보였다.

본 실험을 통해 안전태그가 중계기 역할을 수행하여 통신 음영지역을 해소하는 것을 확인할 수 있었다. 다양한 재난현장 또는 고위험 작업장에서 작업자의 위험 상황을 현장지휘부에 전달함에 있어 통신 음영지역을 극복하기 위해 안전태그 자체가 중계기 역할을 수행할 수 있음을 알 수 있다.

## 결론

본 연구에서는 고위험 작업장(재난현장, 산업현장)에 투입된 작업자의 위험 상황을 실시간으로 모니터링하여 비상 상태의 작업자를 구조하기 위한 골든아워를 확보하고자 하는 ‘스마트 안전관리 시스템’의 통신 음영지역 해소에 관한 연구를 진행하였다.

작업자의 비상 상태를 실시간으로 감지하여 비상 신호를 현장지휘부로 전송하는 과정에서 고위험 작업장의 환경(건물구조, 지하층 등)에 따라 발생하는 통신 음영지역에서의 통신성능을 향상시키기 위한 방안을 다각도로 검토하였다.

기존 연구와 달리 본 연구에서는 별도의 중계기를 필요하지 않고 작업자가 착용하는 안전태그가 중계기 역할을 할 수 있도록 설계하여 구현하였다. 즉, 안전태그와 현장지휘부 단말기 간 통신이 원활하지 않은 상황에서 다른 안전태그를 통해 비상 상태의 신호를 전달할 수 있도록 구현하였다.

본 연구에서 통신 음영지역이 형성되는 특정 건축물에서 통신 음영지역이 해소되는지에 대한 실험을 수행하였다. 안전태그와 현장지휘부 단말기 간 직접 통신 환경에서 통신 성능을 측정하여 통신 음영지역을 확인하였고, 동일한 환경에서 중계기 역할을 하는 안전태그를 추가로 투입한 후 통신 성능을 측정하여 통신 음영지역이 해소되는 것을 확인하였다. 본 실험을 수행한 건축물에서는 안전태그의 중계기 역할(리피팅)을 통해 통신 음영지역이 해소되어 지하3층까지 통신이 가능한 것을 확인하였다.

본 실험에서는 안전태그 간의 중계가 1회만 진행되도록 알고리즘을 구현하였다. 향후 중계횟수를 늘리는 연구를 통해 통신 음영지역의 해소범위를 확대하고자 한다. 그러나 중계 횟수가 증가할수록 중계알고리즘의 복잡도 또한 증가하기 때문에 오히려 전체적인 통신성능을 떨어뜨릴 수 있어 이에 대한 충분한 고려가 되어야 할 것이다.

본 연구는 현장지휘부 단말기와 안전태그 사이의 1:1 통신 거리 및 Repeating(중계) 안전태그의 존재 여부에 따른 확장 거리를 측정하였으며, 이 결과는 실제 고위험 지역에서 운용 시 예상 통신 거리에 대한 가이드로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

## Acknowledgement

이 논문은 2019년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음.



## References

- [1] e-National Index (2017). Firefighters Status
- [2] Kim, M.J., Kim D.Y., Lee M.S. (2016) “The study on the functions for design and development of Public institutions Disaster mitigation management and support system.” Journal of The Korean Society of Disaster Information, Vol.12, No. 1, pp. 32-39.
- [3] Korean Statistical Information Service (2017). Industrial accident statistics
- [4] Korean Statistical Information Service (2018). Five-year casualty figures for firefighters
- [5] Korean Statistical Information Service (2018). Social Survey (Family, Education, Health, Safety and Environment)
- [6] Lee, D.H., Lee, W.J., Park, H.S., Ko, D.S. (2019). “A study on the improved transmission distance of the LoRa network.” Journal of KIIT, Vol. 17, No. 4, pp. 53-59.
- [7] Lim, J.Y., Lee, J.M., Kim, D.H., Kim, J.d. (2017). “Performance analysis of LoRa (long range) according to the distances in indoor and outdoor spaces.” Journal of KIISE, Vol. 44, No. 7, pp. 733-741.