



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

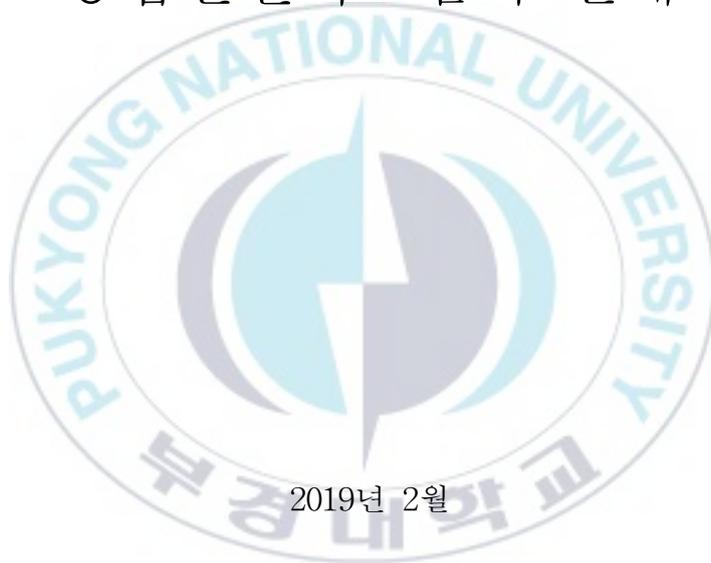
저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

밀폐된 공간을 위한  
통합안전시스템의 설계



2019년 2월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

컴 퓨 터 공 학 과

정 민 승

공 학 석 사 학 위 논 문

밀폐된 공간을 위한  
통합안전시스템의 설계



지도교수 조 우 현

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2019년 2월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

컴 퓨 터 공 학 과

정 민 승

정민승의 공학석사 학위논문을  
인준함.

2018년 12월 21일



주 심 이학박사 윤 성 대 (인)

위 원 공학박사 김 종 진 (인)

위 원 공학박사 조 우 현 (인)

# 목 차

목 차 .....	i
표 목 차 .....	iii
그 립 목 차 .....	iv
Abstract .....	v
I. 서론 .....	1
1.1 연구배경 및 목적 .....	2
1.2 연구의 방법 및 범위 .....	4
II. 관련 연구 .....	4
2.1 LoRa 네트워크 .....	4
2.2 포터블 매쉬 게이트웨이 .....	5
2.3 표준 행동 절차 .....	7
III. 밀폐형 공간의 사고를 예방하는 통합안전 시스템 설계 .....	8
3.1 유사 기술과의 차별성 .....	8
3.2 유사 기술과의 혁신성 .....	12
3.3 재난관리를 위한 통합안전시스템 .....	13
3.4 작업장의 대응요소 .....	14
3.5 제품화를 위한 응용기술 개발 .....	18
IV. 통합안전시스템 실증 및 통합테스트 .....	21
4.1 LoRa 통신모듈 테스트 .....	21
가. 내용기반 추천 시스템 .....	22
나. BS Serial Port 연동 .....	23
다. BS Module 통신 장비 1대 테스트 .....	24

라. BS Module 통신 장비 2대이상 테스트 .....	25
마. BS Module 통신 거리 테스트 .....	27
4.2 선박 내 LPWA 통신 유효성 검증(1차검증) .....	28
4.3 다중 사용자 환경 통신 테스트(2차검증) .....	30
가. 2차 실증 테스트 결과 (다중사용환경 통신 보완 테스트) .....	31
나. 2차 실증 테스트 결과 (LoRa 실내측위) .....	32
V. 결론 및 향후연구 .....	33
VI. 참고문헌 .....	34



## 표 목 차

<표 1> LoRa Network 및 무선통신 기술의 특성 .....	4
<표 2> 재난·재해 업무단계별 주요 요소의 중요도 .....	7
<표 3> 커버리지 향상과 관련된 NB-IoT의 특징(한국전자통신연구원) .....	9
<표 4> RS Modul 통신의 최댓값과 결과값 .....	25
<표 5> RS Module 통신 거리 테스트 결과값 .....	27
<표 6> 1차 실증 테스트 시나리오 .....	28
<표 7> 1차 실증 테스트 장비 설명 .....	29
<표 8> 1차 실증 테스트 결과 .....	29
<표 9> 2차 실증 테스트 시나리오 .....	30
<표 10> 2차 실증 테스트 결과 (다중사용환경 LoRa 통신) .....	31
<표 11> 업데이트 한 후 테스트 실행 결과값 .....	31
<표 12> 2차실증 테스트 결과(배터리) .....	32

## 그 립 목 차

<그림 1> 매쉬 네트워크 연결 개념도 .....	6
<그림 2> 포터블 매쉬 게이트웨이 .....	6
<그림 3> 최신 건물의 전과 투과 손실(한국전자통신연구원) .....	8
<그림 4> IoT 디바이스를 위한 LPWA 망 구성도 .....	10
<그림 5> LoRa 매쉬와 주파수 편이 매쉬 구조 .....	11
<그림 6> Lora 매쉬 구성과 혁신성 .....	13
<그림 7> 작업자안전관리 시스템(기획안) .....	14
<그림 8> 기기의 활용 및 기능 .....	15
<그림 9> SOP 시스템 개발 순서 .....	15
<그림 10> 지능형 위치 추적 시스템 .....	16
<그림 11> 방재설비 이력 관리 시스템 .....	17
<그림 12> 빅데이터의 내용 및 흐름 .....	17
<그림 13> 다중 복합 무선 통신 시스템 .....	18
<그림 14> 모듈 타입의 BLE Tag .....	19
<그림 15> 작업장 Smart Gate 시스템 .....	19
<그림 16> LoRa Module의 내부모습(좌)과 배터리를 장착한 모습(우) .....	21
<그림 17> LoRa Module 통신테스트 설정 화면 .....	22
<그림 18> BS의 Serial Port 연동 연결 화면 .....	23
<그림 19> BS와 RS의 통신 모습 .....	24
<그림 20> BS의 통신에 에러가 발생한 모습 .....	26
<그림 21> 1차 실증 테스트 장비 구성 .....	29
<그림 22> 2차 실증 테스트 사진(왼쪽부터 태그, 중계기(RS), 기지국(BS)) ...	30
<그림 23> 매쉬 알고리즘 업데이트 내용 .....	32

# Design of Integrated Safety System for Sealed Places

Min-Seung Jeong

Department of Computer Engineering, Graduate School,

Pukyong National University

## Abstract

Disaster accidents at industrial sites have been increasing every year. In shipyards there are countless enclosed spaces causing issues like harmful-toxic gases stuck in those sealed areas. And due to such special and complicated structures of the working places with many layers of walls separating each other, there exist more issues of communication with workers trapped inside when accidents happen. Under this circumstance there must be a huge difficulty to evacuate or rescue the workers in case of any disaster. Therefore, in this paper, We would like to introduce the "integrated safety system" to more effectively deal with the problems and prevent such disasters in tough working environments. The suggested integrated safety system can prevent accidents in advance because it can control the data on the location of the workers in real time and the numerical values such as gas, oxygen, and carbon dioxide generated in the workplace in real time.

# I. 서론

최근 대형 인명사고의 영향으로 산업현장의 재해안전관리 및 대응시스템에 대한 사회적 관심과 함께 IoT 융합기술을 활용한 관제 및 대응 시스템에 대한 요구가 높아지고 있다[1]. 국내 산업현장의 경우 다양한 수의 협력업체 직원들이 작업하는 공간이기 때문에 각종 재해나 재난이 발생했을 경우 많은 인명피해가 우려된다. 이를 사전에 방지하기 위하여 협력업체 직원들에 대해 안전교육을 실시하고 이수하여 안전교육을 이수한 직원들을 대상으로 작업장을 출입할 때 작업허가서를 발행하도록 하여야 한다. 하지만 많은 직원들이 작업허가서를 발행받기에는 많은 시간이 소요되기 때문에 이 또한 문제점이 된다. 현재 산업현장은 작업장의 안전작업을 허가 한 후 작업자의 작업환경에 대해 실시간 감시하게 되어 있으나 작업장의 폐쇄성으로 인한 감시가 용이하지 않는다. 따라서 작업현장이 바뀌는 경우 작업자의 사고발생 위험에 대한 빈도수는 높아질 수 밖에 없다. 이를 대비해 산업현장에서는 비상 대응팀을 꾸려 재난발생시 신속하게 대처할 수 있도록 훈련이 잘 되어 있어야 한다. 또한 피해 최소화를 위해서는 작업 현장의 수집된 정보가 통합관제센터로 전달될 수 있도록 네트워크의 안정성이 보장되어야 한다[2]. 비상 대응팀의 훈련이 잘 되어있지 않은 경우 산업현장에서 재난 발생시 정확하고 신속한 대응활동이 이루어지지 않을 수 있다. 본 논문에서는 산업현장에서 발생한 재난상황을 대비해 각종 데이터 및 IoT 통신 정보의 통합 수집/분석/활용하여 일원화된 통합 관리를 하고 표준 행동 절차와 빅 데이터 분석을 통한 이벤트 지능형 관제 및 상황정보와 사건 정보를 수집하고 상황정보를 분석하여 상황판단에 맞는 신속한 관제 및 상황전파로 인명과 재산 피해의 최소화에 대해 연구하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장 관련 연구에서는 LoRa 네트워크, 포터블 매쉬 게이트웨이, 표준 행동 절차등에 대해 살펴보고,

3장에서는 유사기술과의 차별성 및 혁신성, 재난관리를 위한 통합안전시스템, 작업장의 대응요소, 제품화를 위한 응용기술 개발에 대해 살펴보고, 4장에서는 LoRa 통신모듈 테스트, 선박 내의 1차 및 2차 실증에 대해 살펴보고, 5장에서는 결론 및 향후연구를 제시한다.

## 1.1 연구배경 및 목적

선박 건조 작업은 크게 1) 기본설계-> 2) 선각공사-> 3)의장공사-> 4) 시운전-> 5)인도 순으로 이루어지며 전 과정에서 작업자가 안전사고 위험에 노출되어 있다. 특히 용접, 절단, 도장, 내장 등의 의장 공사를 환기가 되지 않는 작업장에서 진행할 경우 각종 유해 가스가 발생하고 적정 산소 농도 유지가 어려울 뿐만 아니라 작업자의 재난 시 정확한 사고 지점을 파악하기 어려워 골든타임을 놓쳐 다수의 작업자가 생명을 잃는 중대한 사고가 발생한다. 이를 해결하기 위해 사고가 발생했을 때 신속한 조치를 취해야 하지만 선박 내부는 철골구조의 격벽으로 구성되어 블루투스, WiFi 등 근거리 통신에 장애요인이 많아 무선네트워크 구성의 한계가 있어 이를 해결할 방안이 선행되어야 한다. 이에 본 논문에서는 매쉬 네트워킹을 활용한 LoRa 통신 프로토콜을 기반으로 밀폐 환경에서 다양한 IoT디바이스를 연결할 수 있는 포터블 매쉬 게이트웨이와 사용자 위치추적 기술을 개발하여“밀폐형 공간 통합안전 시스템”을 소개하고자 한다.

## 1.2 연구의 방법 및 범위

제안하는 기술개발 내용으로는 밀폐된 공간에서 통신을 주고 받을 수 있는 무선 포터블 매쉬 게이트웨이와 작업자의 현재 위치를 관제실에 알려주는 작업자용 엔드노드 디바이스, 밀폐된 공간에서의 모든 정보를 관리하는 통합 안전 관제시스템(PC)이다. 무선 포터블 매쉬 게이트웨이는 자동으로 매쉬망이 구성이 되는 포터블 무선 중계기로서 배터리로 운영되며 1회 충전으로 2개월 이상 동작이 가능하다. LoRa 및 주파수 변조를 이용하여 무선통신이 가능하며 산소농도 및 유해가스 측정이 가능하다. 작업자용 엔드 노드 디바이스는 작업자의 작업복, 헬멧 등에 부착이 가능한 IoT센서로서 1회 충전으로 6개월 이상 동작이 가능하다. LoRa모듈이 내장되어 있어 위치를 확인할 수 있으며 낙상했을 경우 가속도센서를 통해 관제실에 실시간 알람을 해줘 사고를 사전에 방지할 수 있다. 또한 응급상황이 생겼을 경우 SOS버튼을 통해 응급호출이 가능하다. 통합 안전 관제시스템은 작업자의 모든 정보를 관리한다. 게이트웨이 간 매쉬 망의 연결 상태를 확인할 수 있고 작업자의 응급호출이나 낙상등의 신호로 인해 위치확인이 가능하다. 현재 기술개발 진행중에 있으며, 밀폐형 공간에서 무선 통신망을 구축하고 작업자의 IoT 센서와 통신하여 작업자의 상태를 확인할 수 있는 통합안전 시스템을 개발하고자 한다.

## II. 관련 연구

### 2.1 LoRa Network

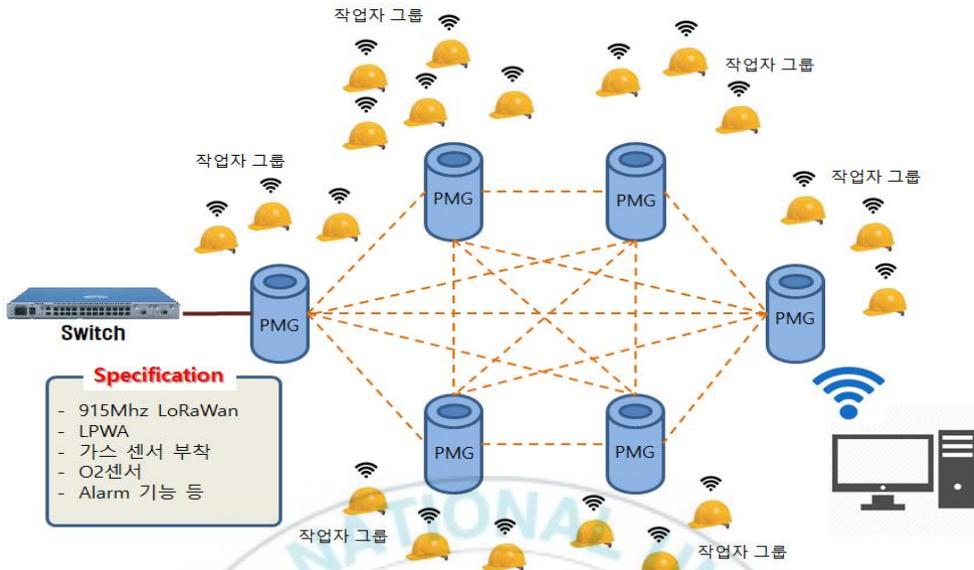
LoRa Network는 무선장거리통신 기술을 의미하며 저전력이고 넓은 통신범위와 경제성을 고려해야 한다[3]. Short-Range Network보다 데이터 전송률은 낮지만, 통신거리가 길고, Cellular Network보다 데이터 전송률은 낮지만, 통신거리가 비슷하고, 가격이 저렴하다[4]. LoRa는 Low Energy 저전력으로 배터리 하나로 최대 10년정도를 사용할 수 있도록 만드는 장점이 있다. 16마일 이상, Long Range 장거리 10마일 이상, 약 16KM 이상 통신 범위가 가능하다. 하나의 IoT 모듈에 여러 센서의 장착이 가능하며 보안성을 위해 기본적으로 AES128 보안기능을 제공한다. 표 1은 LoRa Network 및 무선통신의 기술을 특성 비교한 표이다.

<표 1> LoRa Network 및 무선통신 기술의 특성

Division	Power	Velocity	Range	Cost
LoRa	Low	300bps	<21Km	Low
Bluetooth	Low	700Kbps	<30m	Low
Zigbee	Very Low	250Kbps	10-300m	normal
Wi-fi	Low-High	11-100Mbps	4-20m	normal
3G/4G	High	1.8-7.2Mbps	Cell범위	High
NKX	Very Low	1.2Kbps	800m	normal
WirelessHART	Very Low	250Kbps	200m	normal
ISA100.11a	Very Low	250Kbps	200m	normal
6LoWPAN	Very Low	250Kbps	800m	normal
Wi-MAX	High	11-100Mbps	50km	High
RFID	Very Low	400Kbps	<3m	High

## 2.2 포터블 매쉬 게이트웨이

포터블 매쉬 게이트웨이는 무선 매쉬 네트워킹 환경을 구축할 수 있도록 개발한 휴대용 게이트웨이로써 자동으로 매쉬망이 구성이 되는 휴대용 무선 중계기이다. 상시 전원이 없어도 무선 중계기를 작업 공간의 벽면 또는 선반에 쉽게 거치할 수 있고, 작동 후 자동으로 매쉬 네트워크가 구성되어, 엔드 디바이스와 관제실과의 통신을 중계한다. 기존의 LoRa 네트워크로는 위치추적이 어려우므로 주파수변조시스템(FSK, Frequency Shift Key)과 방향성을 가지는 패치안테나를 추가하여 정확한 위치 추적을 할 수 있다. 작동 시 곧바로 매쉬 네트워크망이 구성이 되고 무선 중계기의 MAC 주소와 현장위치를 맵핑하는 방식으로 유지, 관리를 위한 별도의 무선 네트워크 전문가가 필요 없는 시스템이다. 매쉬 네트워킹 기술은 소출력으로도 넓은 서비스 커버리지 확보가 가능하며, 유연성 있는 장비의 설치 및 재배치를 통한 네트워크 노드 당 경제성이 높은 기술이다 [5]. 무선 매쉬 네트워크 기술은 다른 이동 호스트로의 연결을 제공하기 위한 고정된 제어장치를 갖지 않으며, 각 이동 호스트가 라우터로 동작하여 이동 호스트로부터의 패킷을 다른 이동 호스트로 중계(relay) 하는 방법이다[6]. 포터블 매쉬 게이트웨이는 1회 충전으로 2개월 이상 동작될 수 있도록 개발되어야 하며, LoRa 주파수변조시스템(FSK 등)을 이용하여 통신에 차질이 없도록 개발되어야 한다. 또한 자석을 이용하여 탈부착에 있어 쉽고 간편하도록 제작되어야 한다. 그림 1은 매쉬 네트워크 연결 개념도이며, 그림 2는 완성된 형태의 포터블 매쉬 게이트웨이의 가상모습이다.



<그림 1> 매쉬 네트워크 연결 개념도



<그림 2> 포터블 매쉬 게이트웨이

## 2.3 표준 행동 절차

표준 행동 절차는 업무 시 발생 가능한 상황에 대비하여 사전에 대응 절차를 정리한 것이다. 표준 행동 절차를 사전에 만들어 놓으면 긴급상황이 발생했을 때 빠르고 정확하게 대응할 수 있다는 장점이 있지만, 갑자기 들이닥친 돌발상황에 대해서는 대처를 할 수 없다는 단점이 있다. 2003년 대구지하철 참사를 예로 들면 통합적인 무선통신망 미구축으로 효율적인 재난현장 대응이 미흡했다는 지적이 제기되면서 재난대응을 위한 기관 간 통합대응에 관한 표준 행동 절차의 개선이 필요하다고 지적되어왔다[7]. 재난 업무단계별 주요 요소의 중요도에 관한 설문결과 재난 예방, 대비, 대응, 복구 전 과정에서 표준 행동 절차의 중요도가 높게 나타나고 특히 재난대응에 있어서 47.50%라는 가장 높은 비율을 차지하였다[8]. 표 2는 재난·재해 업무단계별 주요 요소의 중요도를 보여준다.

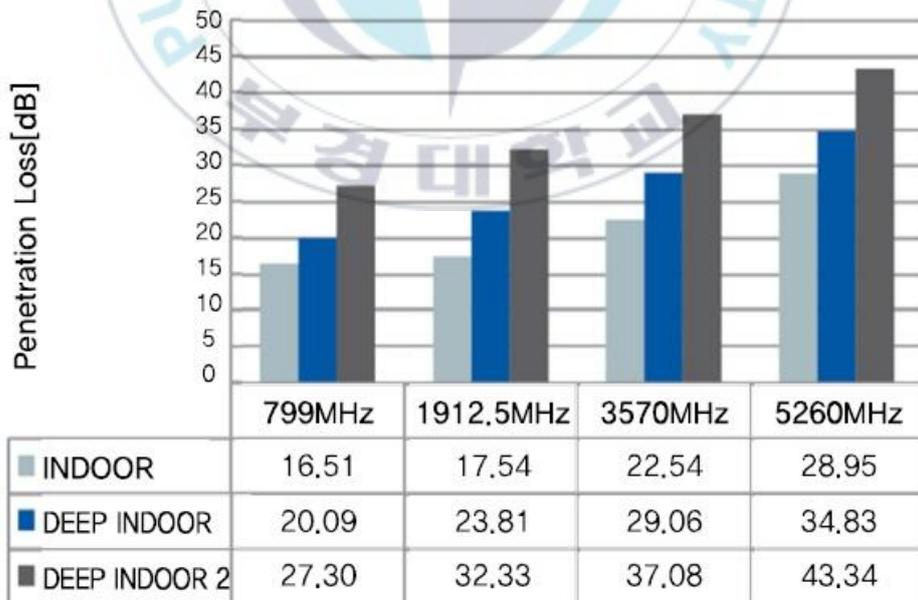
<표 2> 재난·재해 업무단계별 주요 요소의 중요도

Division(%)	Prevention · Contrast	Response	Restoration
Total	100	100	100
Equipment	31.25	18.75	35.63
Wireless	5.00	9.38	5.00
Manpower	9.38	9.38	18.75
SOP	39.38	47.50	30.00
Medical Quarantine	15.00	15.00	10.63

### Ⅲ. 밀폐형 공간의 사고를 예방하는 통합안전시스템 설계

#### 3.1. 유사 기술과의 차별성

그림 3을 보면 기존 서비스의 경우 건물지하, 두꺼운 외벽 건물 내부나 복잡한 구조물 내부에서는 전파의 투과손실이 커서 목표 효과를 달성하기 어렵다. 이를 극복하기 위해서는 시설투자에 고비용이 발생하거나 시설 이후에도 서비스의 완성도가 떨어지고 운영에 막대한 비용이 발생하게 된다. 그림 3은 최신 건물의 전파 투과 손실을 나타냈다.



<그림 3> 최신 건물의 전파 투과 손실(한국전자통신연구원)

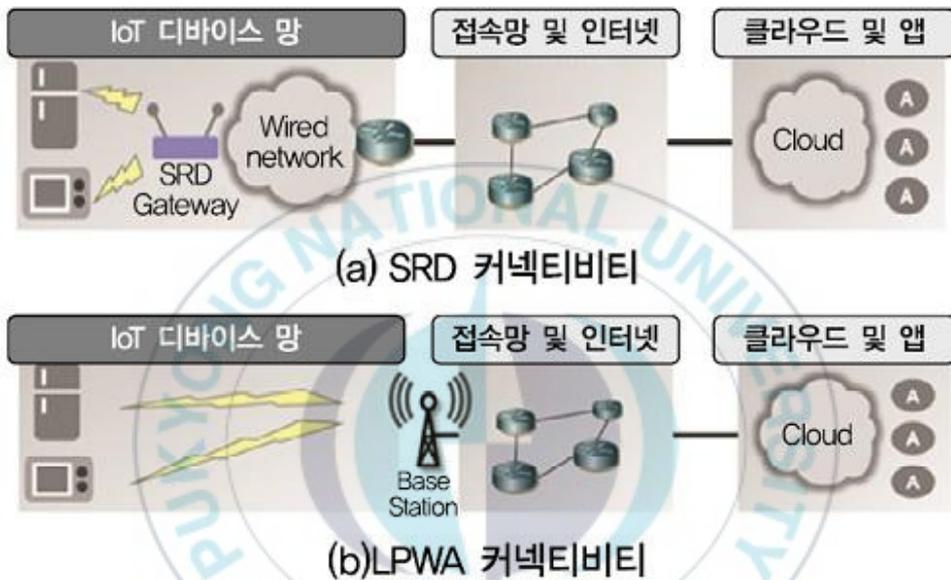
LPWA 디바이스는 전파 투과손실이 큰 재질을 사용하는 빌딩이나 선박과 같은 복잡한 철 구조물에 적합한 기술을 지향하고 있으며, 전파도달의 극한 상황을 극복하기 위해 기존 GSM대비 20dB 이상의 커버리지 향상을 제공한다. 표 3은 커버리지 향상과 관련된 NB-IoT의 특징을 나타낸 표이다.

<표 3> 커버리지 향상과 관련된 NB-IoT의 특징(한국전자통신연구원)

Physical channel/signal	NPRACH	NPUS CH	NPDS CH	NPDC CH	NPBCH	NPSS/NSSS
Repetition	Max 128	Max 128	Max 2048	Max 2048	Max 8	-
Low coding rate	-	1/3, 1/6	1/3	1/3	1/3	-
Low order Modulation	-	$\pi/2$ -BPSK $\pi/4$ -QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	-
Relaxed Requirement	Relaxed miss detection probability	-	-	-	-	Longer sync acq. time
Design new channel/signal	New preamble format	-	-	-	-	New signal based on ZC sequence
PSD boosting	O	O	O	O	O	O
RS power Booting	-	O	O	O	O	-
Increased RS density	X	X	X	X	X	X

IoT 디바이스 망을 구성할 때 기존의 근거리 디바이스(Short Range Device)로는 게이트웨이 및 장거리 백홀이 필요하다는 단점이 있으며, 이는 시설비용과 직결되는 부분이기도 하다[9]. 반면에 LPWA의 경우는 필드에 있는 각 IoT 디

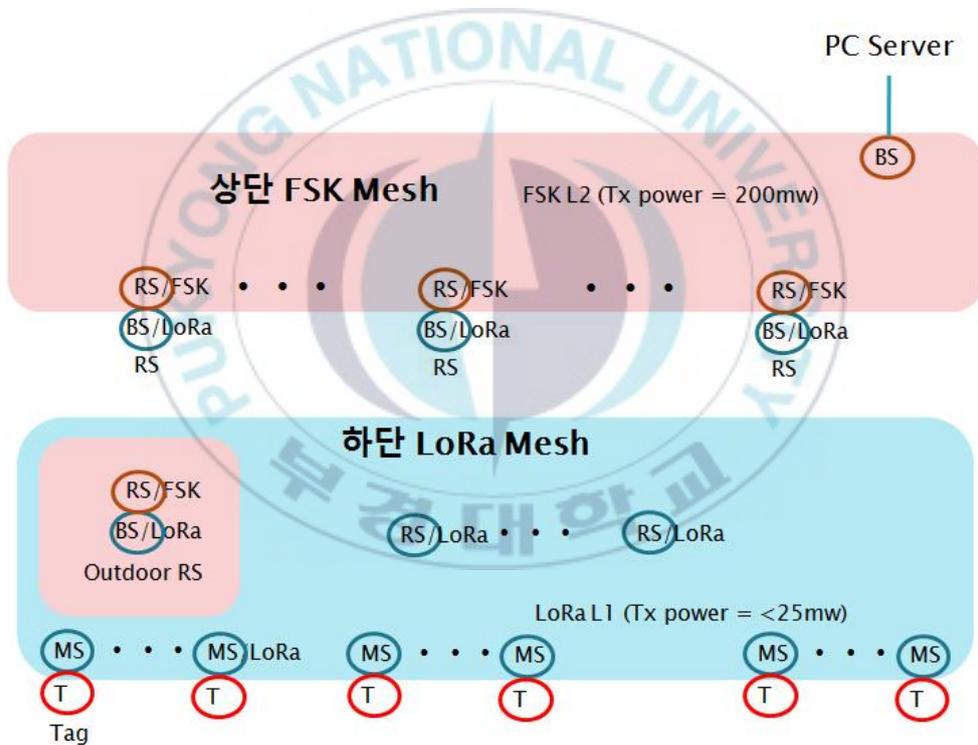
바이스를 직접 연결할 수 있으며 기지국(Gateway 또는 Base Station) 하나에 수천 개의 IoT 디바이스를 연결할 수 있고 기지국 간에도 mesh 네트워크 구성이 가능해 시설비용을 절감할 수 있다[10]. 그림 4는 IoT 디바이스를 위한 LPWA 망 구성도이다.



<그림4> IoT 디바이스를 위한 LPWA 망 구성도

기존의 2.4GHz를 사용하는 와이파이의 AP를 무선 중계기처럼 사용해야 하는데, 소모 전력 때문에 배터리로 장기간 동작시키기가 어렵고 또한 철판으로 구성된 선박의 경우 통달 범위면에서 매우 취약하다. 지그비는 저전력이나 2.4GHz의 특성상 회절성이 나쁘므로 와이파이처럼 건조중인 선박 내부 환경에서는 통달 범위면에서 취약하다. 블루투스 또는 BLE등의 근거리 무선 통신 기술들은 AP의 소모 전력은 낮으나 역시 2.4GHz 기술로 통달 범위가 10m 전후로 실용도가 매우 낮다. 900MHz LoRa 반송파와 주파수 편이 변조(Frequency-shift keying, FSK) 이용기술은 원거리 저 전력 통신 기술로 통달

범위면에서 상기 언급한 2.4GHz의 근거리 통신 기술과는 비교가 안 될 정도로 탁월하다. 여기에 기존의 900MHz 원거리 저 전력 통신 기술은 대부분 게이트 웨이가 센서 노드들 간에 1:N 스타 토폴로지만 지원한다. 본 논문의 경우에 작업자에게 장착하는 엔드 노드 디바이스 (End nod device)의 경우 배터리 동작으로 매쉬 테이블이 없는 스타 구조이긴 하지만, 무선 중계기 들 간에는 매쉬 네트워크 기능이 핵심 기술이 된다. 그림 5는 LoRa 매쉬와 주파수 편이 매쉬 구조이다.



<그림5> LoRa 매쉬와 주파수 편이 매쉬 구조

## 3.2. 유사 기술과의 혁신성

건조 중인 선박 내 작업자들의 위치를 파악하는 기술은 학계에서 꾸준히 연구가 되어온 분야이다. 실내에서는 GPS신호를 수신할 수가 없기 때문에 와이파이, 지그비, BLE 등 주로 상용화된 무선 기술을 사용한 연구가 진행되어 왔다. 그러나, 실용적인 면에서는 아직도 적용성이 크게 떨어지고 있다. 본 논문에서는 기존의 2.4GHz의 무선 기술이 아니라 최근에 전 세계적으로 IoT 주파수로 각광을 받기 시작한 900MHz 저전력 원거리 통신 기술과 패치 안테나 기술 및 매쉬 네트워크 기술을 접목하여 종래의 방법에 비교해서 다음과 같은 혁신성을 가진 시스템을 연구하고자 한다.

- ① 무선 중계기가 신규로 부착되거나 다른 장소로 이동되었을 경우에 새로운 매쉬 네트워크가 생성이 되어야 하는데, 이를 위한 네트워크 전문가가 필요 없이 위치추적 프로그램에서 간단히 망 구성에 대한 업데이트가 될 수 있게 구성한다.
- ② 시스템 구성이 간단하고 고가의 장치가 필요 없으므로 원가 경쟁력이 높다.
- ③ 무선 중계를 하기 위한 중계기는 배터리 1회 충전으로 2개월 이상 동작하며 특히, 천장이 아니라 벽면에 쉽게 탈부착할 수 있게 함으로써 특별한 시공이 필요 없고 비전문가도 쉽게 유지 및 관리가 가능하다.

그림 6은 LoRa 매쉬 구성과 혁신성을 보여준다.



<그림6> Lora 매쉬 구성과 혁신성

### 3.3. 재난관리를 위한 통합안전시스템

재난관리를 위한 통합안전시스템은 작업자용 엔드 노드 디바이스를 통해 작업자의 위치가 어디에 있는지, 게이트웨이 간 매쉬망의 연결 상태를 확인하여 통신은 잘되는지, 응급 상황시 응급호출기능과 위치확인 알고리즘을 이용하여 응급상황에 처한 작업자가 어느 위치에 있는지 등을 통합 관리하는 시스템이다. 포터블 매쉬 게이트웨이를 이용하여 산소 및 가스의 농도등을 측정해 통합 안전 재난 관리 시스템에서 관리가 가능하고 정해진 수치에 비해 높거나 낮을 경우 사고를 미연에 방지할 수 있다. 그림7은 조선소에서 사용하는 작업안전관리 시스템을 기획해놓은 그림이다.



<그림 7> 작업자안전관리 시스템(기획안)

통합안전시스템은 예방/대비, 대응, 복구와 같은 3단계 별로 관리가 가능하다.

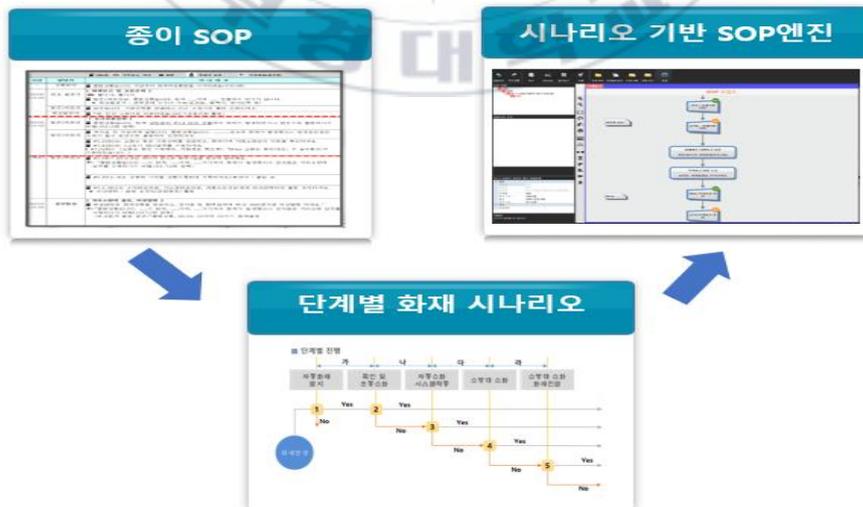
### 3.4. 작업장의 대응요소

작업장의 대응요소는 다음과 같은 6가지 단계로 구성된다. 첫 번째로 사업장 출입관리 및 출입인원의 안전교육 이수 확인은 작업장 및 방문자 출입에 관한 제반 사항을 전산관리를 통하여 실시간으로 집계·관리하고, 출입자의 신속한 공장출입과 출입의 편의성을 증진시킨다. 온라인을 통한 작업허가 및 안전관리가 가능하다. 그림 8은 사업장 출입관리 및 출입인원의 안전교육 이수 확인의 활용 및 기능이다.



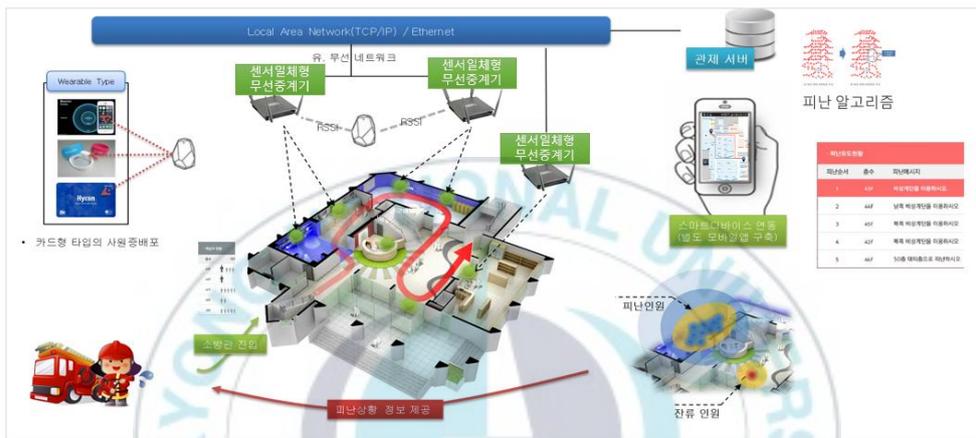
<그림 8> 기기의 활용 및 기능

두 번째 사고 유형별 전자 비상대응 매뉴얼 시스템은 텍스트형 표준 행동 절차를 전자화하여 사고유형별에 따라 시나리오 기반의 대응 매뉴얼을 제시 하는 시스템이다. 재난 발생이 확인되면 자동으로 표준 행동 절차를 작동시켜, 재난 상황에서 방재요원들에게 임무를 전달하고 중앙 관리센터에서 일목요연하게 비상대응을 지휘 관리할 수 있다. 그림 9는 표준 행동 절차 시스템의 개발순서이다.



<그림 9> SOP 시스템 개발 순서

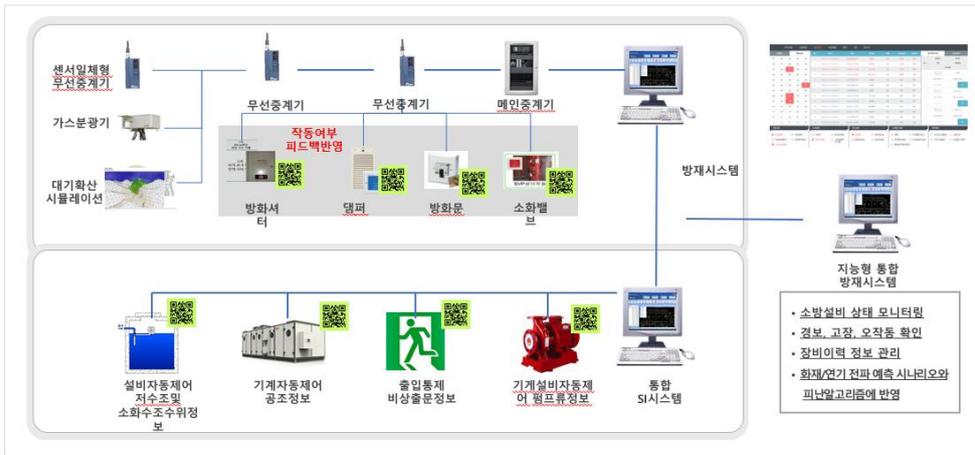
세 번째 지능형 위치 추적 시스템은 재난 상황 발생시 사원증에 심어진 IoT Chip을 통해 위치를 모니터링 하여 지능형 피난 알고리즘에 의해 신속한 대피 안내를 하게 하는 인명 구출에 필요한 정보를 공유하는 시스템이다. 피난상황에 따라 Color Code를 통해 육안으로도 쉽게 구별이 가능하다. 그림 10은 지능형 위치 추적 시스템이다.



<그림 10> 지능형 위치 추적 시스템

네 번째는 비상소통 앱을 활용한 비상피난 유도 및 구조에 필요한 정보제공이다. 모바일 지원시스템은 평상시, 재난상황 발생시, 보다 빠른 정보제공과 1:N의 효율적인 정보공유를 위한 시스템으로 작업자 및 유관기관에게 공지사항 및 재난정보, 작업지시 등의 정보를 주고받는다.

다섯 번째 방재설비 검사 및 이력 관리 자동화는 안전하게 피난로를 확보하기 위해 피난설비에 대한 작동명령뿐만 아니라 작동여부를 방재시스템에 반영하고 SI시스템과 연계하여 운영할 수 있는 시스템을 구축한다. QR코드를 이용하여 장비 검사결과를 손쉽게 입력관리 할 수 있다. 그림 11은 방재설비 이력 관리 시스템이다.



<그림 11> 방재설비 이력 관리 시스템

마지막으로 여섯 번째는 빅 데이터의 활용이다. 빅 데이터의 활용은 화재설비의 장애 및 교체를 예측하여 서비스하고 방재설비의 집중관리 대상 및 위치 파악이 가능하다. 그림 12는 빅 데이터의 내용 및 흐름을 정리해 놓은 그림이다.



<그림 12> 빅데이터의 내용 및 흐름

### 3.5. 제품화를 위한 응용기술 개발

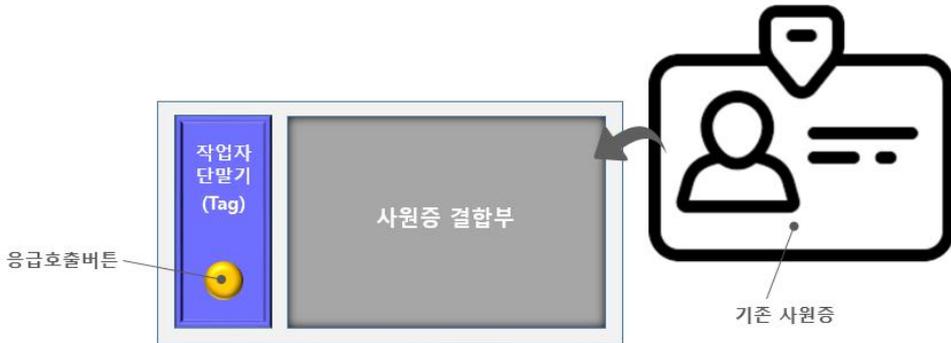
제품화를 위한 응용기술로는 다음과 같은 3가지 방법을 제안할 수 있다. 첫 번째로 다중 복합 무선 통신 시스템은 현대중공업 조선소는 작업장 내의 기존 측위 통신방식이 BLE로 되어 있고, 작업장 외부 관제실과의 통신방식은 KT에서 구축한 LTE통신망으로 되어 있다. BLE로 되어 있는 기존 통신망을 활용하여 복합적인 통신망 구축을 하게 되면 보다 원활한 통신이 이루어지므로 BLE와 LoRa, LoRa와 LTE 간의 이중 통신이 가능한 장치의 개발이 필요하다. 그림 13은 다중 복합 무선 통신 시스템이다.



<그림 13> 다중 복합 무선 통신 시스템

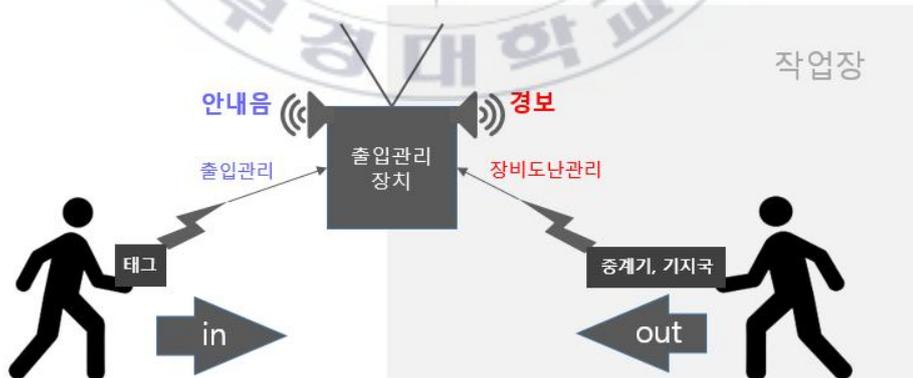
두 번째로 모듈 타입의 Tag는 작업자가 소지하는 Tag의 경우 한 Dock 당 최대 1천개 가량이 필요하므로 사실상 관리가 어렵다. 작업자들 역시 작업 시에 추가적인 기기를 소지하는 것에 거부감과 불편함을 느끼므로 기존 사원증을 LoRa 또는 BLE Tag를 결합하여 사용할 수 있는 모듈 타입의 Tag 개발이 필

요하다. 그림 14는 모듈 타입의 BLE Tag이다.



<그림 14> 모듈 타입의 BLE Tag

세 번째로 작업장 스마트 게이트 시스템은 중계기는 자석탈부착 방식으로 설치와 철거가 간편한 반면 도난이 쉬운 단점도 가지므로, 이를 보완하기 위하여 중계기가 작업장 관문 통관문을 출입하는 작업자들의 작업장 출입을 자동 확인하고 기록한다. 그림 15는 작업장 Smart Gate 시스템이다.



<그림 15> 작업장 Smart Gate 시스템

마지막으로 Total HSE (Health & Safety, Environment)는 조선소 작업환경에 보다 실질적이고 경제적인 안전관리 시스템을 구축하기 위하여, 실시간 작업장 환경 모니터링 시스템, 실시간 작업자 안전 모니터링 시스템, 작업자 응급상황 관리 시스템, 작업장 통신 관리 시스템 등의 추가적인 세부 시스템들이 필요하다.



## IV. 통합안전시스템 실증 및 통신테스트

### 4.1. LoRa 통신모듈 테스트

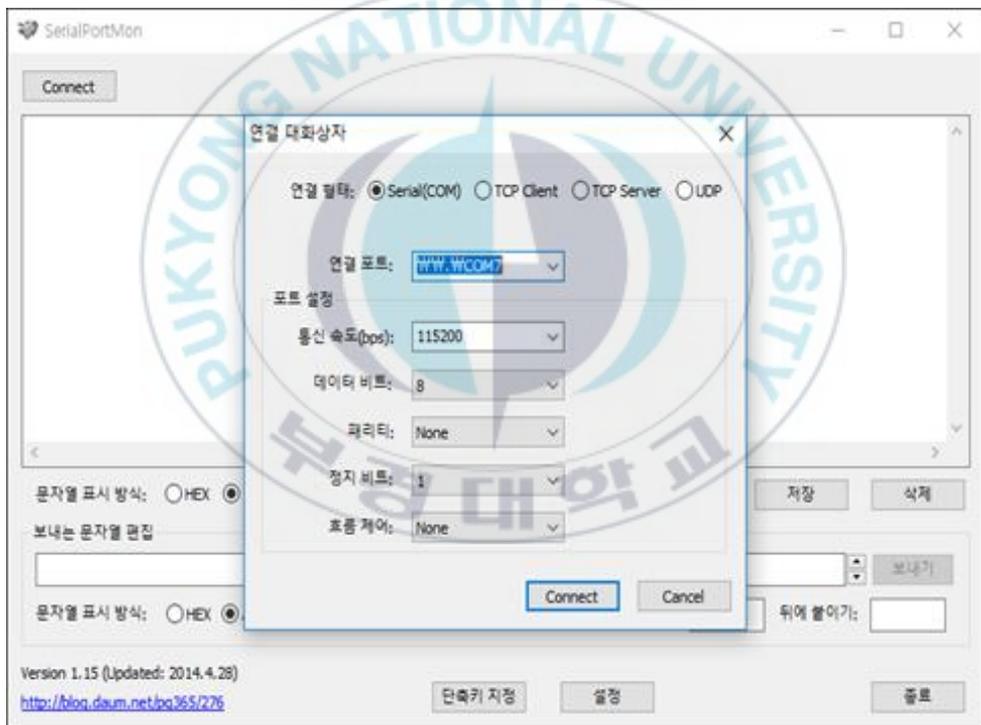
건조중인 선박에 포터블 매쉬 게이트웨이를 설치할 경우 LoRa 모듈은 통신의 정확성과 거리가 중요하다. 배의 가장 하층 부분에 위치해 있는 타기실과 배의 가장 상층 부분에 위치한 기관실까지 통신을 하기 위해선 최대 몇 개의 포터블 매쉬 게이트웨이를 거쳐야 하는지 알 수 없다. 이에 포터블 매쉬 게이트웨이 역할을 하는 BS 1대와 중계기 역할을 하는 RS 19대를 두고 아래와 같은 방법으로 다양한 테스트를 진행하였다. 그림 16은 테스트에 사용될 LoRa Module의 모습이다.



<그림 16> LoRa Module의 내부모습(좌)과 배터리를 장착한 모습(우)

## 가. 테스트 준비

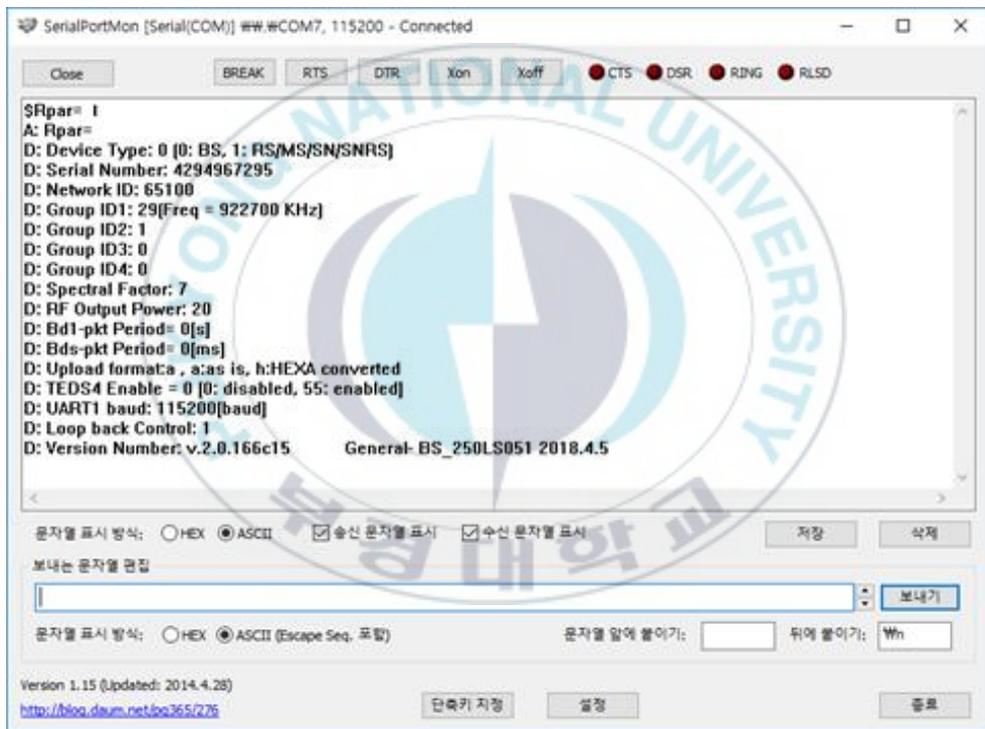
LoRa Module 통신에 사용하는 장비는 총 20대 (RS 19대), (BS 1대) 이다. LoRa Module에 배터리를 이용하여 연결하는 방법과 BS와 같은 Port 구성에 연결하는 방법 총 2가지의 방법과, 최대 통신 가능한 개수 및 거리에 대한 통신 테스트를 준비한다. 그림 17은 LoRa Module 통신테스트를 하기 위한 프로그램의 통신설정 화면이다.



<그림 17> LoRa Module 통신테스트 설정 화면

## 나. BS Serial Port 연동

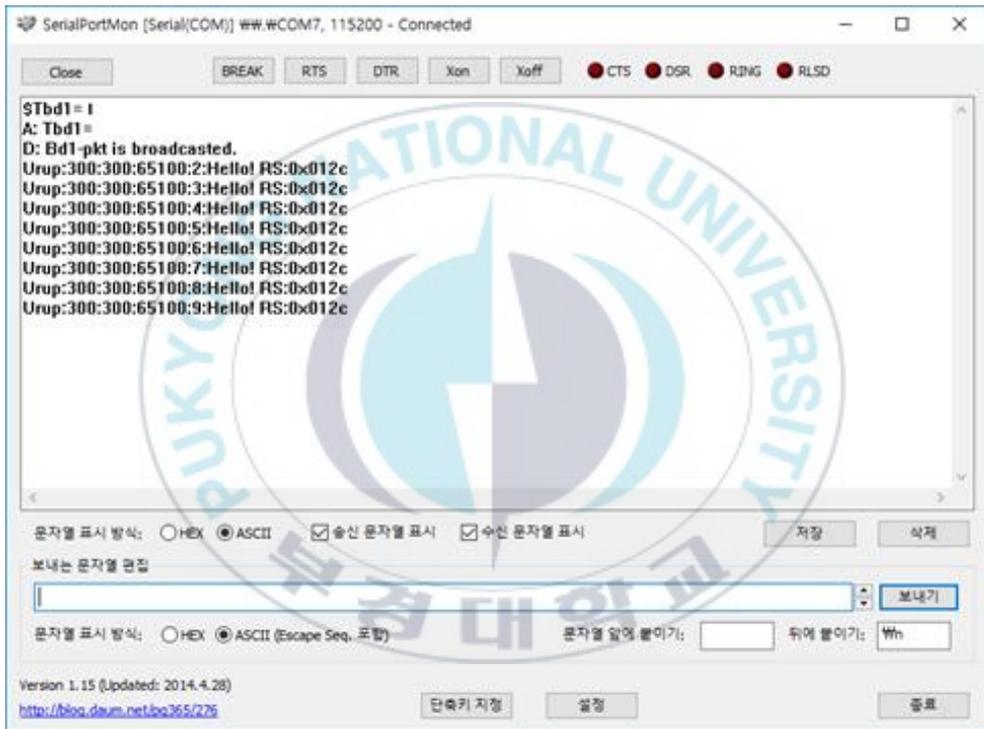
포터블 매쉬 게이트웨이 역할을 하는 BS를 컴퓨터에 연결한 후 RS와 Serial 통신한다. Lora Module과 연동된 상태에서 명령어를 입력한 후 연동이 되었는지 확인한다. 연동이 되면 주파수의 길이, 채널, 아이디, 속도, 버전 등에 대한 정보가 보여진다. 그림 18은 BS의 연동이 완료된 형태의 화면이다.



<그림 18> BS의 Serial Port 연동 연결 화면

## 다. BS Module 통신 장비 1대 테스트

BS와 RS 1대를 통신한다. 그림 19를 보면 통신이 끊임없이 주기적으로 원활하게 통신이 되는 모습을 볼 수 있다. 그림 19는 BS와 RS가 통신이 되고 있는 모습이다.



<그림 19> BS와 RS의 통신 모습

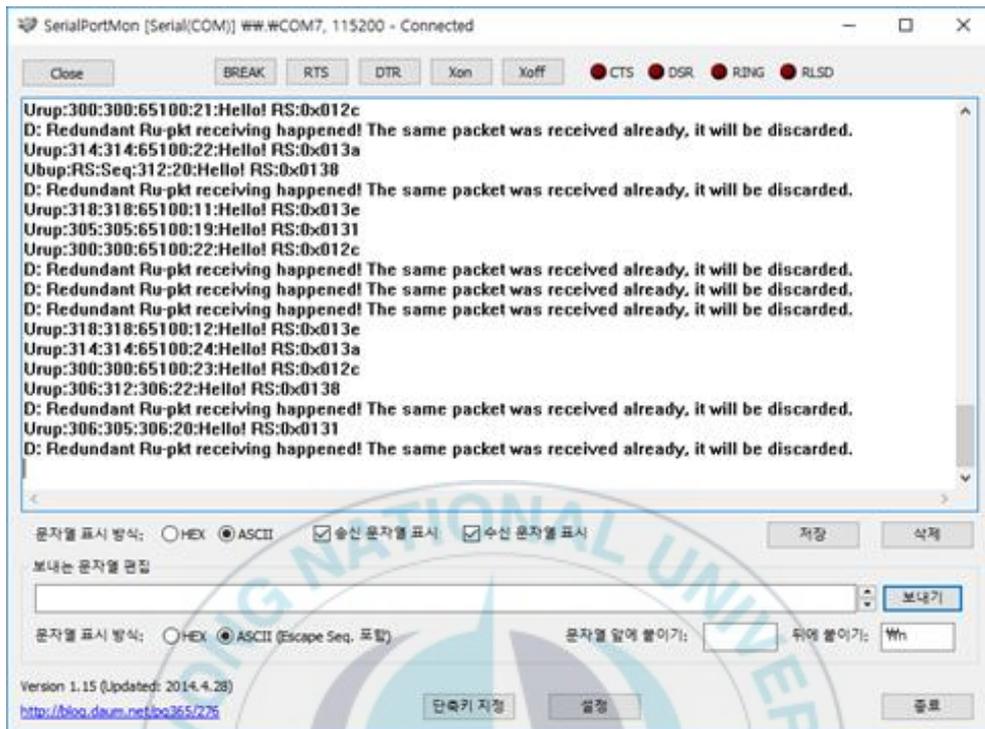
## 라. BS Module 통신 장비 2대 이상 테스트

BS와 RS를 1대부터 19대까지 통신한다. 표 4를 참고하여 최대 몇 대의 RS Module이 통신가능한지 확인한다. 표 4는 RS Module 통신의 최댓값과 결과값을 보여준다.

<표 4> RS Modul 통신의 최댓값과 결과값

RS Number	결과값	통신상태	비고
300	O	원활	
301	O	원활	
302	O	원활	
303	O	원활	
304	O	원활	5대까지 통신이 원활
305	O	이상	
306	O	이상	
307	O	이상	
308	x	에러	9대부터 통신이 불능
		~	
319	x	에러	

BS 6대 이상부터 통신에 에러가 있어 가까운 거리인데도 불구하고 통신에 이상이 생기는 모습을 볼 수 있다. BS 8대 까지는 통신에 이상이 생겨도 통신이 되는 모습을 볼 수 있었고 9대 부터는 에러가 발생해 8대까지만 통신이 되는 모습을 볼 수 있다. 그림 20은 9대부터 통신을 하면 에러가 발생하는 모습이다.



<그림 20> BS의 통신에 에러가 발생한 모습

## 마. BS Module 통신 거리 테스트

BS Module은 총 8대로 진행한다. 통신의 거리는 배의 타기실과 기관실의 높이인 건물 8층 높이에서 1층 높이까지 테스트를 진행하였다. 표 5는 8층부터 1층까지 테스트를 진행한 결과값이다.

<표 5> RS Module 통신 거리 테스트 결과값

RS Number	RS 위치	통신상태	비고
300	BS옆	원활	
301	8층복도	원활	
302	8층비상구	이상	통신은 되지만 속도가 느림
303	7층비상구	이상	통신은 되지만 속도가 느림
304	5층비상구	이상	8·7층에 있는 RS를 거쳐 통신가능
305	4층비상구	에러	통신에러
306	2층비상구	에러	통신에러
307	1층비상구	에러	통신에러
308	1층	원활	8층에서 비상구가 아닌 창문으로 통신이 됨

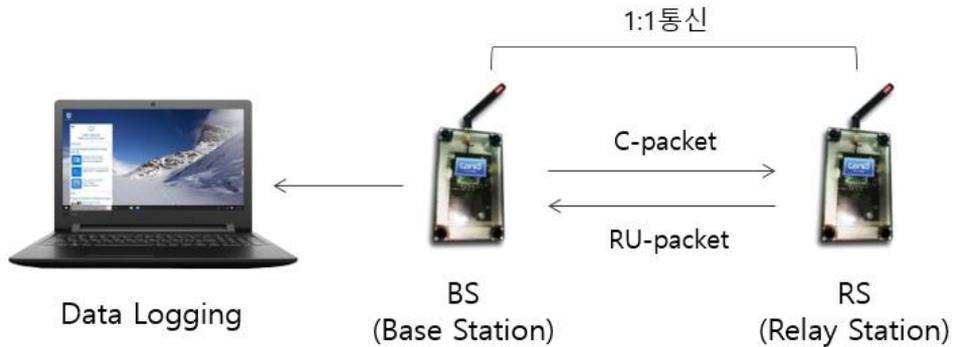
8층복도와 1층은 통신이 원활한 모습을 확인할 수 있다. 비상구에 위치한 RS 들은 비상구가 철문이기 때문에 통신에 있어 이상이 생기거나 에러가 생긴 모습을 볼 수 있다. 가운데 지점인 5층에 위치한 RS는 7층과 8층 비상구에 위치한 RS를 거쳐 들어오는 모습을 볼 수 있다.

## 4.2. 선박 내 LPWA 통신 유효성 검증(1차실증)

2017년 현대중공업에서 통신 유효성의 검증을 위한 통신 실증 테스트를 2차례 진행하였으며, 그 중 1차 실증 테스트를 위하여 아래 표 3과 같은 내용으로 테스트를 진행하였다. 표 6부터 표 8까지는 1차 실증에 대한 시나리오 및 테스트 결과값이다.

<표 6> 1차 실증 테스트 시나리오

중점 테스트 내용		건조 중인 선박 내 LoRa 통신 적용 가능 여부 및 효율 추정
실증 일시		2017년 9월 28일
실증 장소		2801호선 멤브레인 타입의 LNG선
테스트 시나리오	코퍼댐 통신 테스트	코퍼댐#2의 최저층 및 Main Deck 간 LoRa 통신 테스트 수직통로 입구 옆에 BS 를 위치시키고 , 수직통로를 따라 배의 밑바닥까지 RS 를 가지고 내려가면서 통신상태 점검
	WBT 통신 테스트	W.B.T#3 최심부 및 Main Deck 간 LoRa 통신 테스트 시나리오 1 과 같은 방법으로 테스트를 하면서 바닥의 격벽까지 통신상태 점검 후 옆으로 이동하여 취약 지구까지 전 구간 통신 점검
	엔진룸 통신 테스트	B-Deck 및 Deck House/엔진룸 간 LoRa 통신 테스트 B-Deck 내의 선실에 BS 를 두고 RS 를 이동하여 엔진룸까지 이동 후 , 한 층 더 내려간 기계실까지의 통신 성공률을 추정
도면		



<그림 21> 1차 실증 테스트 장비 구성

<표 7> 1차 실증 테스트 장비 설명

용어	설명
RS	네트워크 중계기
BS	데이터 수집 장치로 모든 RS와 통신을 하며, PC의 관제 소프트웨어와 연동하여 모든 RS를 관제
C-packet	RS가 RU-packet을 송신하면 이를 수신한 다른 RS 또는 BS는 수신을 확인하는 confirm packet을 보내고 이를 받아야 RS는 송신의 완료를 판단하는데, 이 confirm packet을 C-packet이라고 정의
RU-packet	RS가 자신의 Network 주소를 포함한 Hello message를 5초 단위로 생성하여 이를 BS로 송신함. 이 때, 방송 형태의 packet이 아니라, Mesh table의 경로를 참조하여 BS 방향으로 송신하는데, 이를 RU-packet이라 정의

<표 8> 1차 실증 테스트 결과

시나리오	수신/통신시도	통신성공여부	비고
코퍼덱 테스트	146/146	성공	
W.B.T 테스트	125/125	성공	
엔진룸 테스트	126/130	성공	바닥층으로 내려가는 복잡한 구조물이 있는 곳에서는 약간의 통신 손실 발생

### 4.3. 다중 사용자 환경 통신 테스트(2차 실증)

2차 실증 테스트는 아래 내용과 같이 진행하였다. 표 9부터 표 10까지는 2차 실증에 대한 시나리오 및 테스트 결과값이다.

<표 9> 2차 실증 테스트 시나리오

중점 테스트 내용	실질적인 사용 환경 통신 테스트 LoRa 태그를 투입하여 다중사용자 통신 테스트, 실내측위 테스트, 배터리 수명 테스트	
실증 일시	2017년 12월 21일 ~ 25일	
실증 장소	2865호선 FSRU선	
테스트 시나리오	다중 사용자 테스트	선수부 테스트(다중사용자 부하 테스트) 태그 20 개를 몽쳐 놓고 다중사용자 LoRa 통신 테스트 엔진룸 테스트 (다중 사용 환경 실내측위 테스트) 태그를 선박 바닥층과 2 층에 각각 10 개씩 놓아 두고, 릴레이 네트워크 중계를 통한 다중사용자 LoRa 통신 및 실내측위 및 배터리 테스트
도면	<p>Note</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• T (LoRa 태그): A-RS 및 B-RS로 신호 전송</li> <li>• A-RS, B-RS (A, B 중계기): 태그에서 신호를 받아 RS로 전달</li> <li>• RS (중계기): A, B 중계기로 부터 신호를 받아 기지국으로 전달</li> <li>• BS (기지국): RS로부터 신호를 받아 서버에 데이터 저장</li> </ul>	



<그림 22> 2차 실증 테스트 사진(왼쪽부터 태그, 중계기(RS), 기지국(BS))

<표 10> 2차 실증 테스트 결과 (다중사용환경 LoRa 통신)

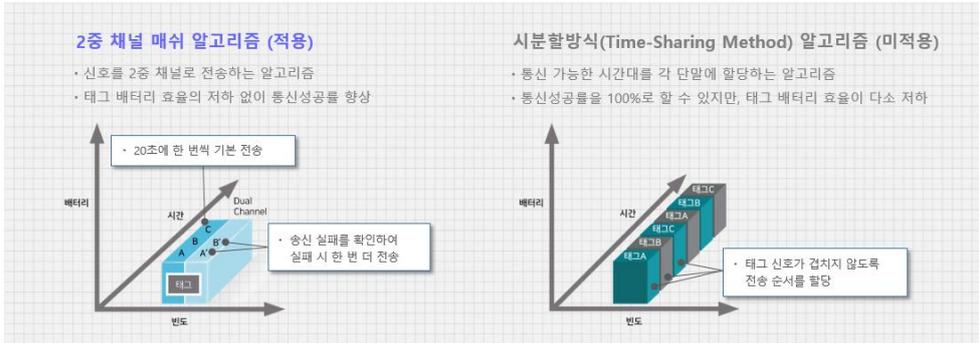
시나리오	수신/통신 시도	통신성공 여부	비고
다중사용자 부하 테스트	172/223	부분성공 (손실률: 21.1%)	1분 당 평균 통신성공 횟수는 1.58회로 분 당 성공률은 100%
다중사용환경 테스트	5,005/5,747	부분성공 (손실률: 12.9%)	1분 당 평균 통신성공 횟수는 2.43회로 분 당 성공률은 100%

### 가. 2차 실증 테스트 결과 (다중사용환경 통신 보완 테스트)

다중사용환경 테스트에서 손실률이 높았던 것은 태그 간 신호 충돌(태그 간 신호 전송 타이밍이 겹치면 충돌이 발생하여 손실) 때문인 것으로 확인된다. 이 문제를 해결하기 위하여 태그에 매쉬 알고리즘을 업데이트하여 다시 테스트 실행하였다. 표 11은 업데이트하여 테스트 실행한 결과값이다. 그림 23은 매쉬 알고리즘 업데이트 내용이다.

<표 11> 업데이트 한 후 테스트 실행 결과값

시나리오	수신/통신 시도	통신성공 여부	비고
보완 테스트	1,049 / 1,051	성공	태그 20개로 테스트



<그림 23> 메쉬 알고리즘 업데이트 내용

## 나. 2차 실증 테스트 결과 (LoRa 실내측위)

Tag#1 ~ #10이 방송한 LoRa 신호는 모두 A-RS 중계기에서만 포착했고, Tag#2 ~ #20이 방송한 LoRa 신호는 모두 B-RS 중계기에서만 포착하여 LoRa 실내측위 테스트를 성공하였다. 표 12는 배터리에 대한 2차 실증 테스트 결과이다.

<표 12> 2차실증 테스트 결과(배터리)

디바이스	배터리 용량	평균 지속 기간	비고
LoRa Tag	300mAH Li-Polymer	31.2일	20초에 한 번씩 전송, 1일 12시간 동작 기준
RS (중계기)	20,000mAH Li-Polymer	83.3일	Tag 20개 방송 수신, 1일 24시간 동작 기준

## V. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 밀폐된 공간에서 재난이 발생하였을 때 빠른 대응을 통해 피해를 줄일 수 있는 통합안전시스템에 대해 제안하였다. 본 논문의 가장 핵심 기술인 LoRa 모듈을 이용한 통신 테스트를 진행하였을 때 5개의 RS는 통신이 원활이 잘되는 결과값을 알 수 있었고 9개 이상이 될 경우 9번째 RS는 통신연결이 되지 않는 결과값을 알 수 있었다. 출입문이라는 장애적인 요소로 인해 생각보다 먼 거리는 가지 못하였지만 비상구를 통하지 않고 창문을 이용한다면 1층 까지도 원활히 통신이 잘되는 모습을 볼 수 있었다. 이를 기반으로 LoRa 모듈을 가지고 실제 건조중인 선박안에 들어가 1,2차 실증 테스트를 진행하였고 1차 실증은 95% 이상 통신이 되는 모습을 볼 수 있었다. 2차실증 중 다중사용자 부하테스트에서 21.1%의 손실률이 있었지만 1분 당 평균 통신성공 횟수가 1.58회로 분 당 성공률은 100%인 결과값을 알 수 있었다. 실증 테스트 결과값을 토대로 향후에는 더 정확한 LoRa 모듈을 가지고 논문에서 제안한 내용처럼 LoRa통신을 이용한 포터블 매쉬 게이트웨이가 개발되어 진다면 가장 많은 사건사고가 일어나는 조선업 뿐만 아니라 석유화학, 제철소, 발전소 등 주요산업시설로 확대적용 되어 재난 재해부터 사전에 예방할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 대응 요소 6가지 단계를 순차적으로 적용하고 시행한다면 기존에 재해로 일어난 사건, 사고, 사망률이 대폭 줄어들 것으로 예상된다.

## VI. 참고문헌

- [1] 한국전자통신연구원, “밀폐공간에서 휴대형 가스 측정 시스템 기술”, 2015
- [2] 윤태현, 정우성, 유대승, 최현균, “통신 음영지역 해소를 위한 LoRaWAN 릴레이 시스템 개발,” 한국통신학회 학술대회논문집, 2018, pp.724-725
- [3] Tae-Won Kim, “Power Supply Characteristic of IoT Electrical Safety Monitoring Device according to the LoRa Technology” KIEE Autumn Conference, pp.256-257, October 2016.
- [4] 고준혁, 한동균, 이세라, 박하연, 김동희, “LoRa 모듈을 이용한 GPS기반 무선 분실 방지 시스템 구현”, 디지털콘텐츠학회논문지, vol. 18, No.4, pp. 761-768, July. 2017
- [5] 정기욱, “유비쿼터스 컴퓨팅 기술 실용화를 위한 기술 동향 분석”, 2006
- [6] Dae -Hyun Ryu, “A Development of Portable Mesh Network Gateway for Disaster Relief” IIBC, Vol.11, No.3, PP.99-105, 2011.
- [7] 행정안전부, “재난대응 표준운영절차(SOP) 고도화를 위한 연구용”, 2012
- [8] 행정안전부, “재난대응 표준운영절차(SOP)-정책연구정보서비스”, 2012
- [9] 김선영, 박승근, 최형도, “LPWA기반 광역 IoT기술 및 표준화,” Electronics and Telecommunications Trends. Vol. 31, No. 2, April 2016, pp. 95-106
- [10] SNS타임즈, “4차 산업 혁명을 이끄는 핵심 기술(4편)”, 2017