

# 부산도시철도 IoT기반 재난안전 비상대피 시스템 기술개발



박상현 부산교통공사 기술연구원 원장  
(maeju365@humetro.busan.kr)

## 1 서론

사건, 사고에 대한 뉴스의 한 대목을 살펴보자. “사고는 언제나 경고 없이 찾아온다. 그리고 우리는 위험상황이 발생하면 견잡을 수 없는 상황을 만난 뒤에 뒤늦은 대책을 발표한다. 확실한 매뉴얼이 없기에 피해는 계속 확산된다. 결국 임시대책본부가 만들어지고 복구 및 수습하기까지 몇 개월 혹은 몇 년의 시간이 소요된다.” 잊어버릴만하면 또다시 들려오는 이 시대의 가슴 아픈 뉴스인 것이다.

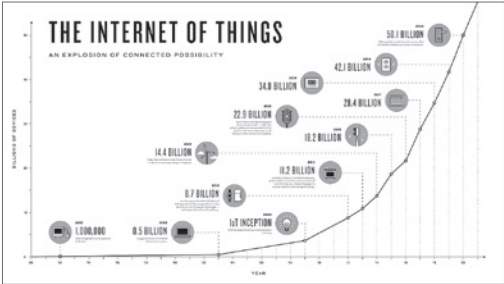
2004년 인도양 해일사건은 10만 명 이상의 목숨을 앗아간 인류 최대의 재난이었다. 하지만 놀라운 사실은 당시 부근의 야생동물들은 피해를 입은 사례가 없거나 매우 적었다는 것이다. 인간이 감지할 수 없는 재해를 미리 감지하고 피할 수 있는 본능적 감각이 동물들에게는 있었기 때문이다. “사고는 발생하기 마련이고, 인류는 퇴화된 감각 기관으로 인해 위험을 미리 감지할 수 없다.”

재난상황 발생 시 가장 중요한 것은 초동대응시간, 즉 “골든타임” 내에 <더 빨리, 더 많이, 그리고 더 안전하게 대피 시키는 것>이다. 하지만 현실은 복잡한 절차와 인력 부족 등으로 인해 소중한 골든타임이 낭비되고 있는 실정이다. 타 기관들과의 정보 공유 등이 매우 효율적으로 최단 시간 내에 이루어지지 못함으로 인해 소중한 골든타임이 무시무시한 “Hell Time”으로 변해버린다. 특히, 2014년 세월호 사고는 그 부분을 여실히 보여주는 대표적인 사례라 할 수 있다. 충분한 대피가 가능한 골든타임이 있었음에도 불구하고, 잘못된 상황 인식, 부적절한 의사결정, 그에 따른 잘못된 행동지침 전달로 인해 결국 탑승객 300명 이상이 사망하는 대 참사가 발생했다.

바야흐로 인류의 생명을 보호하기 위해 사물인

터넷 기술(IoT) 등을 활용하여 안전사고 예방 및 초동조치가 중요한 시점이다.

안전관련 시스템 구축을 위하여 사용되는 정보통신망(3G/4G/LTE, 블루투스, Wi-Fi, ZigBee, NFC, RFID, 이더넷, 위성 등)은 사물인터넷 인프라로 활용 가능하지만 통신 네트워크 구축비용, 증장거리 데이터 송·수신 거리, 저전력 등 고려해야 될 사항이 많이 존재한다. 수도·전기·가스 등의 원격검침기 또는 주차 위치 확인 서비스 같이 소량의 센서 데이터 통신을 위해 LTE와 같이 거대한 통신망을 쓸 필요가 없다.



[그림 1] IoT 시장의 성장

도시철도에서도 크고 작은 사고로부터 인명, 재산피해가 지속됨으로 안전에 대한 요구가 높아지고 있으며 사물인터넷 인프라 적용이 필요하다.

도시철도 안전 부분은 크게 두 가지로 나누어진다. 이를 살펴보면 다음과 같다.

1.1 전동차

전동차 내·외부에 화재, 가스누출, 폭발, 고장 등 지속적인 사고가 발생으로 공급전원 및 보조전원장치 장애 발생 시 객실방송이 불가한 상황이 발생한다.

최근 사례 뉴스를 살펴보자.  
 “2016년 1월 안전처, 오전 10시 4호선 열차사

고 대책회의 소집”

재난안전 당국이 8일 지하철 4호선 열차 운행 중단 사고와 관련해 긴급 대책회의를 연다. 객실 내 대피 안내방송이 나오지 않은 것도 고속도 차단기 절연 파괴 때 발생한 대전류가 방송장치 배선으로 흘러들어 방송 출력증폭기의 퓨즈가 훼손됐기 때문이라고 설명했다. 이 회의에서는 운행 중 비상정차 시 승객 대피 문제와 개선방안에 대해서도 포괄적으로 논의할 예정이다.

1.2 역사

도시철도 역사에서는 사고 발생 시 고정형 비상구 표시등과 일괄적 전관 안내 방송에 의하여 대피하고 있다.

대부분의 건물 내부에는 [그림 2]와 같은 비상대피 안내도가 소방안전법에 의거하여 벽면에 부착되어 있다. 해당 건물의 안전 관리자는 평상시에 화재대피 훈련 등을 통해 정해진 대응 매뉴얼에 따른 행동 방침을 숙지한다.



[그림 2] 일반적인 비상대피 안내도 예시

하지만, 이 모든 비상대피 안내도와 안전 관리자 훈련의 성과는 성인의 지능을 가진 상태에서만 효력을 발휘할 수 있는 것이다. 위급상황에서는 유아 수준의 지능으로도 이해할 수 있을 정도

로 단순해야 한다. 우리의 결론 또한 단순하다.

이처럼 전동차 및 역사 내 지속적인 재난 사고 발생하는 시점에서 긴급 상황 발생 시 대피 골든 타임을 확보하여 대피 유도를 진행하는 IoT기반 재난안전 비상대피 시스템을 적용하여 전문화되고 지능화된 대피 안내 도구와 연계한 안전관리 및 대피 안내 서비스 시스템을 소개하고자 한다.

## 2 IoT기반 재난안전 비상대피 시스템

### 2.1 LoRa 무선 기술

로라(LoRa)란 Long Range의 약어로서 대규모 저전력 장거리 무선통신기술로 대기전력이 적고 모듈 가격이 저렴하여 스마트 시티와 옥외 등에서 쓰이는 기술이다. 초고속, 광대역 네트워크를 필요로 하는 기존의 스마트 기기 연결환경과는 다르게 별도의 기지국이나 중계 장비 없이 저전력으로 소규모 데이터를 주고받으며, 보안 양방향 통신, 이동성, 현지화 서비스와 같은 인터넷에서 요구되는 사항을 목표로 사용자 및 개발자에게 원활한 상호 운영성을 제공한다.

가정용뿐만 아니라 산업용으로도 널리 이용되는, 블루투스, Zigbee 등은 모듈 및 장비에 소요되는 비용이 낮은 저전력 무선통신 프로토콜이지만, 단거리 기반의 서비스만 제공하여 서비스의 범위를 확장할 경우 많은 비용이 발생하며 보안에 취약하다. 이 기술의 단점들을 보완하고 Field Bus 기능을 추가한 것이 WirelessHart 프로토콜이지만, 통신 모듈 및 장비의 공급이 매우 제한적이며 고가이다. 또한 서비스의 유지보수에 추가비용이 매우 크게 발생한다는 단점을 가지고 있다.

[표 1]과 같이 LoRa 통신은 거리가 길고, 전력 소모가 적어 단말 배터리 수명이 수년간 유지되는

장점을 가지고 있고, 많은 AP(Access Point)가 필요 없어 인프라 구축비용을 낮출 수 있다.

[표 1] 무선통신기술 비교

구분	LoRa	3G	LTE	Wi-Fi	
거리	10s Kms	10s Kms	10s Kms	300 m	
전력소모 (전송), mW	18	500 ~ 1,000	600 ~ 1,100	19 ~ 400	
대기전력 (3V), mW	0.001	3.5	5.5	1.1	
운영 시간 (건전지)	연속	120	2~4	2~3	4~8
	대기	10년	20일	12일	50시간
모듈가격	\$3	\$35~\$50	\$80~\$120	\$5~\$8	

### 2.2 부산도시철도 적용

#### 2.2.1 LoRa 기반 IoT 센서 네트워크

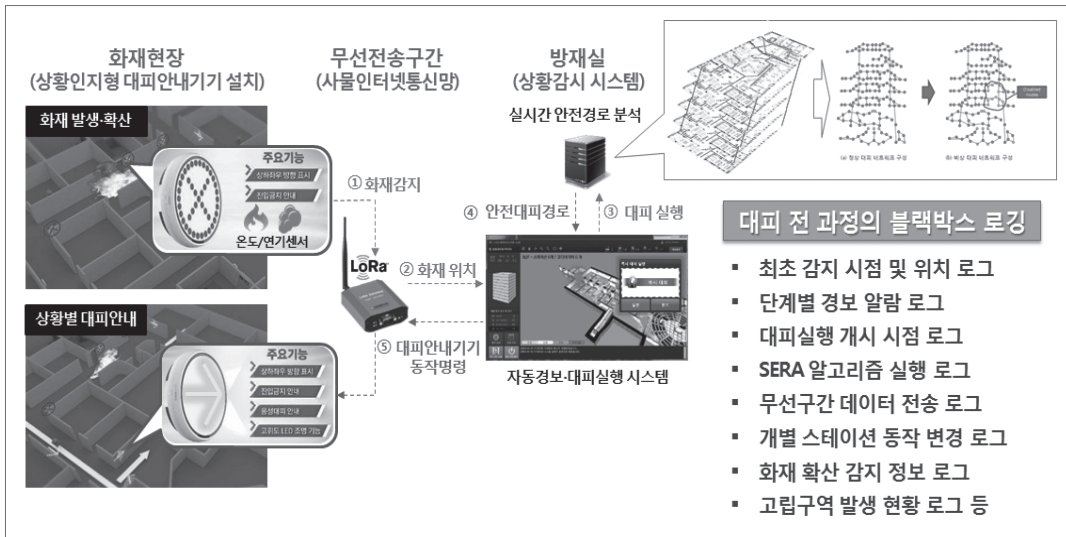
도시철도 역사 승강장 및 대합실, 전동차 내부, 터널 구간 내부에 설치하여 화재 발생 및 확산 시 온도변화와 연기·가스 감지정보를 해당 위치정보와 함께 LoRa 무선망 게이트웨이 장비로 전송

#### 2.2.2 센서 정보 수신용 게이트웨이

917~923.5MHz 대역의 독자 IoT 무선망 구현 장비로서, 평상 시 IoT 센서들의 상태정보를 확인하고, 비상 시 IoT 센서들이 전송하는 화재 감지 정보 및 위치정보를 수신하여 방재실 모니터링 서버로 전달

#### 2.2.3 화재 발생 및 확산 구역 3D 시각화 모니터링 도구

평상 시 IoT 센서들의 상태 모니터링(통신 상태, 센서 상태, 배터리 상태) 정보를 3D 시각화 공간모델 상에서 안전 관리자가 직관적으로 파악할



[그림 3] 시각화 모니터링

수 있도록 [그림 3]과 같이 표출하고, IoT 센서로부터 수신된 감지 정보에 기반한 위험상황 알림 수행

### 2. 2. 4 안전 대피경로 생성 알고리즘 (SERA: Safe Evacuation Routing Algorithm)

지하철 역사, 전동차 내부, 터널 내부 등 화재 발생 위치 및 실시간 확산 정보를 반영한 고속 연산을 통해, 역사 내부에서 지상 출구까지의 안전 대피경로, 전동차 차량 간 대피경로 및 차량 탈출 경로, 터널 구간 내부에서 인근 역사까지 [그림 4]와 같이 안전 대피경로를 결정

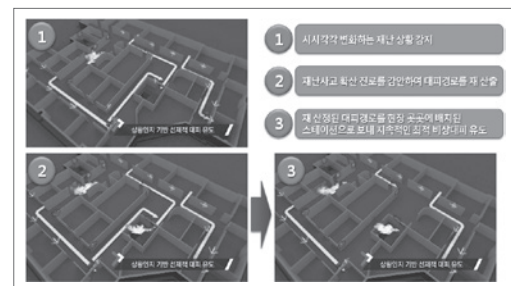
세계적 최적화 등 - 알고리즘과의 비교  
 (서울 강남소매복합상업시설의 대피 네트워크 모델 대상, 88개 노드, 252개 링크)

대피경로 생성 알고리즘 비교 항목	개입 소프트웨어 SERA	ILOG CPLEX (주장가: 10억)	Graphs (주장가: 수 천만)	오픈소스 (Edmonds-Karp)
안전 대피로 생성시간	1 초 이내	6.65 초	9.11 초	> 1.5 hour
전체 연일 대피 소요시간	193 초	193 초	193 초	193 초
화재 확산에 따른 알고리즘 N회 반복 실행 시 추가되는 계산 시간	최대 1초 x N	최소 6.65초 x N	최소 9.11초 x N	최소 1.5 hr x N

[그림 4] 알고리즘 산출 성능 비교

### 2. 2. 5 대피안내기기별 동작명령 생성 및 LoRa 게이트웨이를 통한 전송 모듈

SERA를 통해 결정된 대피경로에 기반하여, 승객들을 현장에서 안전하게 안내하기 위한 대피안내 기기별 동작명령 (음성안내 메시지, LED 화살표, 빔 라이팅 조명)을 생성하고, 이를 [그림 5]와 같이 LoRa 게이트웨이로 전송

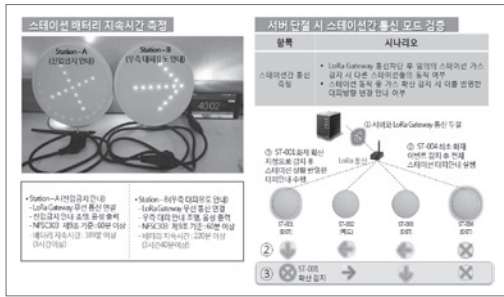


[그림 5] 안전 대피경로 생성

### 2. 2. 6 IoT 스마트에이전트 대피안내 기기

화재상황에서 단순 명료한 대피안내로 신속하게 승객들을 대피시키기 위한 신개념 IoT 디바이스로서, 지하철 역사 승강장과 대합실 주요 집객

장소 및 이동 경로, 전동차 차량 내부 출입구, 터널 내부 벽면 등에 설치되어, 화재 대피 상황에서 LoRa 게이트웨이로부터 수신된 동작 명령에 따라 해당 위치의 승객들이 안전하게 대피할 수 있는 방향을 [그림 6]과 같이 음성안내, LED 화살표 방향지시, 고취도 방향 조명 등으로 알림



[그림 6] 대피안내 방향 지시 및 방송

위의 항목을 종합하여 IoT기반 재난안전 비상 대피 시스템이 구성되며 전체 구성도는 [그림 7]과 같다.

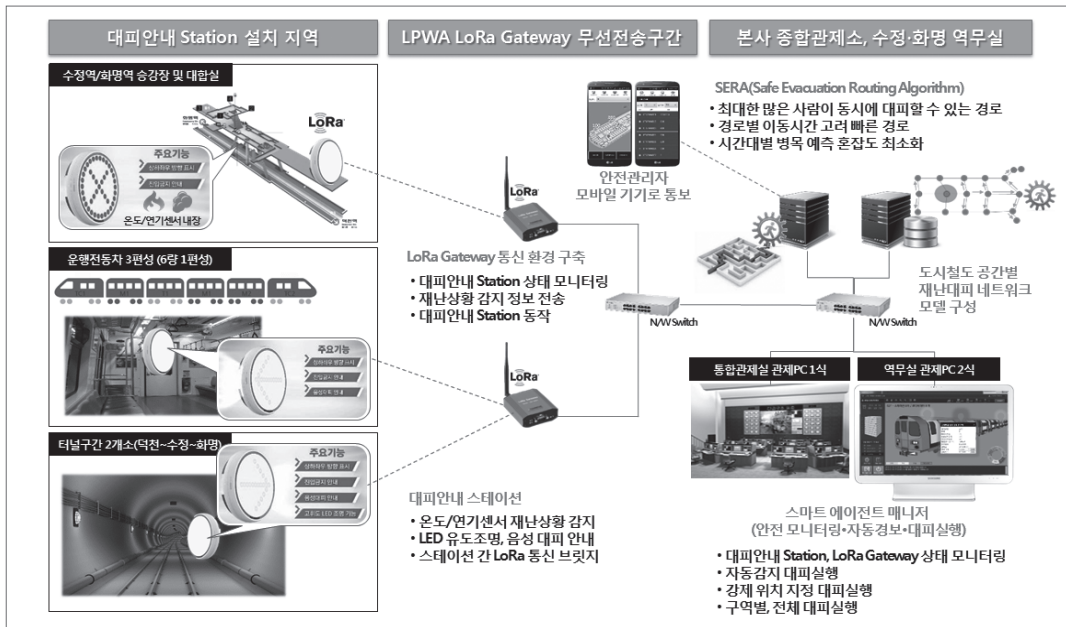
### 3 맺음말

이제 우리의 단순한 결론을 효과적으로 실행에 옮길 수 있는 모든 기술적 준비는 끝났다.

부산도시철도 내에서 운행 전동차, 역사, 터널 구간 내 실제 재난 상황 발생 시 재난 위치와 상황 정보를 실시간으로 수집하고, 이를 반영한 안전 대피경로의 3D 공간모델 기반 탐색, 도출된 안전 대피경로에 따른 현장에서의 자동화된 대피안내를 통해 더 이상 대피 안내를 받지 못하여 희생자가 발생하는 일은 사라지게 되며 안전한 부산도시철도 시스템이 구현이 될 것이다.

또한 평상시에도 기존의 획일적, 형식적 대피 훈련이 아닌, 다양한 상황을 가정한 실제와 유사한 대피 훈련을 수행하고, 대피 과정의 모든 데이터가 축적되어 대피 효율성 검증 및 기존 대피경로의 문제점 개선이 가능해진다.

실시간 센서 디바이스 감지 정보 및 시설 전체를 대상으로 하는 고립지점 및 안전한 경로 정보



[그림 7] 부산도시철도 IoT기반 재난안전 비상대피 시스템 구성도

는 구조 활동을 수행 중인 소방대원들에게도 제공되어 구조 효율성을 높이고, 소방대원들의 안전까지도 획기적으로 높일 수 있게 된다.

전 세계 어디에서나 안전은 현재의 희망을 미래로 연결해주는 필수적인 요소이다. 공공부문에서 안전한 사회를 구현하고, 민간부문에서 사업의 지속성을 확보하기 위해 실시간 비상대응 역량을 갖

추는 것은 더 이상 미룰 수 없는 지상과제이다. 그러한 관점에서 사물인터넷과 인공지능을 결합한 스마트 안전 에이전트는 안전 혁신을 달성하기 위한 필연적 도구일 뿐만 아니라 IoT안전 신산업을 창출하고 글로벌 시장을 선점하여 대한민국의 신성장 동력으로 자리 잡을 날이 멀지 않았다.

