



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](#)

工學碩士 學位論文

사물인터넷 기반 스마트 안전
에이전트를 활용한 도시철도
재난대피 시스템

2017年 2月

釜慶大學校 大學院

制御計測工學科

李 珍 翰

工學碩士 學位論文

사물인터넷 기반 스마트 안전
에이전트를 활용한 도시철도
재난대피 시스템

指導教授 邊 基 植

2017年 2月

釜慶大學校 大學院

制御計測工學科

李 珍 翰

李珍翰의 工學碩士 學位論文을 認准함.

2017年 02月



主 審 工學博士 黃 龍 淵



委 員 工學博士 元 榮 秀



委 員 工學博士 邊 基 植



목 차

목 차	i
그림목차	iii
표 목 차	vi
Abstract	vii
I. 서 론	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 목적	4
II. 재난안전 비상대피 시스템의 알고리즘 적용	5
2.1 기연구된 재난안전 비상대피 알고리즘 소개	5
2.2 본 연구에서 적용된 알고리즘	12
2.2.1 알고리즘 적용 목적	12
2.2.2 본 연구의 알고리즘 적용 해석	16
2.2.3 알고리즘 정의	21
2.2.4 알고리즘 동작 시나리오	25
III. 시스템의 도시철도 적용	29

3.1 도시철도 적용 연구 범위	29
3.1.1 IoT 기반의 도시철도 적용대상	29
3.1.2 주요 도시철도 적용 대상 기관에 대한 적용 분야	32
3.2 본 연구의 시스템 구성	33
3.2.1 스마트에이전트(안내스테이션)	34
3.2.2 LPWA LoRa Getway 무선통신 구간	35
3.2.3 중앙 통제관제(중앙 서버)실	35
3.3 본 연구의 도시철도 적용 기술	36
3.3.1 도시철도 적용 시스템의 기술적 요소	36
3.3.2 본 연구의 도시철도 적용 주안점	41
IV. 시스템의 도시철도 적용 시험	49
4.1 도시철도 적용 시험대상 및 내용	49
4.2 도시철도 적용 시험 결과	55
4.2.1 역사(대합실/승강장) 적용 시험 결과	55
4.2.2 전동차 적용 시험 결과	66
V. 결 론	71
참고문헌	73
감사의 글	75

그 립 목 차

그림 1.1 도시철도 주요 사고사례	2
그림 1.2 스마트 안전 에이전트가 결합된 IoS의 구현	4
그림 2.1 The GETAWAY-IADSS concept and its components	6
그림 2.2 Road block, Traffic Pylon 사용 예 및 시물레이션 네트워크 ..	8
그림 2.3 시물레이션 네트워크 및 각 노드들 사이를 지나가는 대피자 수 ..	9
그림 2.4 시물레이션 네트워크	10
그림 2.5 시물레이션 네트워크	11
그림 2.6 중앙 집중식 제어 알고리즘 시스템 구조	13
그림 2.7 중앙 집중식 제어 알고리즘 워크플로우	14
그림 2.8 기존 일반적인 대피	17
그림 2.9 분산대피 알고리즘 적용	17
그림 2.10 알고리즘 구조 1	18
그림 2.11 알고리즘 구조 2	19
그림 2.12 알고리즘 구조 3	19
그림 2.13 알고리즘 구조 4	20
그림 2.14 각 노드별 부연설명을 위한 요식도	24
그림 2.15 각 노드별 상황	25
그림 2.16 알고리즘 동작 시나리오 계획	26
그림 2.17 알고리즘 동작 시나리오에 의한 정보 입출력 과정	27

그림 2.18 정보 입출력 과정에서 솔루션-메세지 변환 방법	28
그림 2.19 알고리즘에 의한 비상상황 대피 솔루션	29
그림 3.1 시스템 구성도	33
그림 3.2 상황감지용 스테이션 이미지 예시 및 블록다이어그램	34
그림 3.3 적용 시스템 및 네트워크 구성도	44
그림 4.1 화명역 대합실 스마트에이전트(안내스테이션) 설치도	50
그림 4.2 화명역 승강장 스마트에이전트(안내스테이션) 설치도	50
그림 4.3 수정역 대합실 스마트에이전트(안내스테이션) 설치도	51
그림 4.4 수정역 승강장 스마트에이전트(안내스테이션) 설치도	51
그림 4.5 전동차 스마트에이전트(안내스테이션) 설치도	52
그림 4.6 터널구간 스마트에이전트(안내스테이션) 설치도	52
그림 4.7 덕천 ~ 수정 터널구간 LoRa 통달 시험모습	53
그림 4.8 수정 ~ 화명 터널구간 LoRa 통달 시험모습	53
그림 4.9 본선 터널 내 스마트에이전트 적용 방안	54
그림 4.10 본선구간에서 전동차 LoRa 네트워크 테스트 수행결과	55
그림 4.11 역무실 프로그램 사용자 로그인 시험 관련 사진	56
그림 4.12 역무실 프로그램 모니터링 시험 관련 사진	57
그림 4.13 역무실 프로그램 네비게이션 시험 관련 사진	58
그림 4.14 역무실 프로그램 수동/자동 모니터링 시험 관련 사진	59
그림 4.15 수동제어 시험 관련 사진	60
그림 4.16 장애처리 모니터링 시험 관련 사진	61
그림 4.17 위험상황 정보알림 모니터링 시험 관련 사진	62
그림 4.18 동작명령(자동/강제) 모니터링 시험 관련 사진	63

그림 4.19 접속정보 조회 시험 관련 사진	65
그림 4.20 진입열차 조회 시험 관련 사진	65
그림 4.21 접속정보조회 시험 관련 사진	67
그림 4.22 열차 모니터링 시험 관련 사진	68
그림 4.23 위험상황 정보알림 시험 관련 사진	69
그림 4.24 강제 동작명령 시험 관련 사진	70
그림 4.25 환경설정 시험 관련 사진	70



표 목 차

표 2.1 Demand inflation을 고려하지 않은 경우, 각 Cell별 대피자 수 · 12	12
표 2.2 Demand inflation을 고려한 경우, 각 Cell별 대피자 수 ······ 12	12
표 2.3 기존 대비 알고리즘 특성 비교 ······ 20	20
표 2.4 세계적인 알고리즘과의 성능비교 ······ 21	21
표 3.1 통신시스템 비교표 ······ 35	35
표 3.2 상용최적화 계산 도구 및 오픈소스 알고리즘 성능비교표 ······ 35	35
표 3.3 도시철도에 적용된 LoRa 통신 주파수 대역 ······ 42	42
표 4.1 도시철도 적용을 위한 관련장비 설치 구성표 ······ 49	49
표 4.2 역사 프로그램 로그인 시험표 ······ 56	56
표 4.3 역사 프로그램 모니터링 시험표 ······ 57	57
표 4.4 역사 프로그램 네비게이션 시험표 ······ 58	58
표 4.5 역사 프로그램 자동/수동 모니터링 시험표 ······ 59	59
표 4.6 수동제어 시험표 ······ 60	60
표 4.7 장애처리 모니터링 시험표 ······ 61	61
표 4.8 위험상황 정보알림 모니터링 시험표 ······ 62	62
표 4.9 동작명령(자동/강제) 모니터링 시험표 ······ 63	63
표 4.10 접속정보 조회 및 환경설정 시험 모니터링 시험표 ······ 64	64
표 4.11 진입열차 조회 및 열차 모니터링, 접속정보 조회 시험표 ······ 66	66
표 4.12 접속정보 조회 시험표 ······ 66	66
표 4.13 열차 모니터링 시험표 ······ 67	67
표 4.14 위험상황 정보알림 시험표 ······ 68	68
표 4.15 강제 동작명령 시험표 ······ 69	69

Urban Railway Disaster Evacuation System Using the Smart Safety Agent Based on Internet of Things

Jin-Han Lee

Department of Control & Instrumentation Engineering
Graduate School of
Pukyong National University

Abstract

This study applies Time Expanded Minimum-cost Maximum-flow Algorithm. Also, by utilizing Internet of Things(IoT) which is applied Low Power Wide Area(LPWA) LoRa Gateway Communication that doesn't need extra fees for communication network. In the event of disaster situation, Smart Safety Agent which is installed in subway station(tunnel included) and urban railway train recognizes disaster situation, then it sends information to central server for monitoring situation information at central control tower. Then at the part of central server, it builds evacuation system to Busan Urban Railway Line 2's real-time guide for optimal evacuation route by using voice, arrow, lighting, by sending evacuation order through Smart Agent after analyzing related information. After proceeding study to realistically optimize analysis algorithm and Multi-sensor, Smart Safety Agent, Communication device to increase effectiveness in Urban Railway, generally satisfactory result comes out after application test in information monitoring for disaster situation and carrying out evacuation order.

I. 서 론

1.1 연구의 배경

가까운 미래에 개인, 기업, 국가의 삶과 운영방식이 사물인터넷(IoT)으로 인해 크게 변화할 것이라며, 정부와 기업이 앞장서 적극적인 투자를 공언하고 있다. 지금까지 기술적 한계로 인해 효과 창출이 쉽지 않았던 분야에 새롭게 사물인터넷 기술이 적용되었을 때 예상되는 결과가 무엇일지에 더욱 초점을 맞추어야 한다. 그 일환으로 화재, 홍수, 지진, 선박좌초 등 수많은 인명피해를 유발할 수 있는 사회적, 자연적 재해가 발생했을 때, 골든타임 내에 더욱 신속한 정보 전달과 대피안내를 할 수 있어야 될 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.

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. 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.

갑작스런 재난상황을 맞닥뜨리게 되면 시야각이 좁아지고, 근육으로 혈액이 몰리면서 두뇌로의 혈액 공급이 부족해져 성인의 지능이 일시적으로 유아 수준으로 급감한다는 연구가 있다. 정상적인 사리판단이 불가능해진 사람들에게 필요한 것은 바로 정확하고 간단명료한 대피안내이다.

또한, 도시철도의 경우 전동차 및 역사 내 화재, 가스누출, 폭발, 고장 등 지속적인 사고가 발생하고 있으나, 대피 안내가 제대로 이루어지지 않아 더 큰 피해를 초래하고 있는 실정이며, 실제로 2016. 1. 6일 서울메트로 4호선 한성대역과 성신여대 입구 열차 고장 사고 시 안내 방송이 나오지 않아 승객 800명이 문을 직접 열고 선로를 통해 대피하는 사례가 있었다.



부산지하철 1호선 시청역 화재(2014년 7월 7일)
- 18명 부상



서울 4호선 미아역 화재(2015년 11월 26일)



부산 대티역 화재(2012년 8월 27일)
- 61명 유독가스 흡입 또는 부상



부산 하단역 정제불명 가스유출 사고(2012년 11월 25일)
- 61명 유독가스 흡입 또는 부상

그림 1.1 도시철도 주요 사고사례

도시철도에서 발생하는 크고 작은 사고로부터 인명, 재산피해가 지속됨으로써 안전에 대한 요구가 높아지고 있으며, 기존 아날로그 CCTV와 구형 화재경보시스템 기반의 수동적 감지 방식으로는 안전관리 인력의 부족으로 실시간 대응의 한계가 존재 한다.

대부분의 도시철도 역사에서는 사고 발생 시 정적인 비상구 표시등과 일괄적 전관 안내 방송에 의한 대피방법에 의존하고 있어 화재 등 재난사고 발생 시, 기존 대피유도등에 대한 인지율이 떨어져 골든타임 이내 대피가 어렵고, 순간적 대피인구 집중으로 압사 등 2차 피해로의 확대 우려되는 실정이다.

하지만, 국내 도시철도의 경우 역사/터널구간의 재난안전을 위한 실시간 온도 및 유해가스 감지 시설 미흡 및 실시간 유해물질 감지 기반이 부족하여 전동차 혹은 역사 내 승객, 역무원, 철도안전요원 등 철도 종사자가 위험에 노출되는 경우가 발생할 수 있다.

또한, 도시철도 역사와 같이 유동인구가 높은 실내, 지하 시설의 경우 재난 상황이 발생하게 되면 대피 상황에 처해있는 사람들은 재난안전 매뉴얼 숙지 및 철저한 훈련이 수반되어야 효과적인 대응이 가능하다는 점에서 사물인터넷 기반의 안전관리 체계를 마련하여 실시간 재난 상황 모니터링 및 대피 안내 수행 시스템 기술 연구는 매우 필요한 실정이나,

현재 매뉴얼을 이용하여 대피를 유도하는 방식은 사람이 직접 안내를 하거나 전관 방송을 통해 일괄적인 대피 안내를 하는 상황이며, 실제 사고 발생 시에는 불안 심리로 인해 매뉴얼대로 대응하기 어려운 혼란상황 발생 가능성은 가중될 수 밖에 없다.

따라서 재난안전 매뉴얼을 시스템 상에 반영하여 위치 및 사고 상황에 따라 사람들에게 신속하고 간결하게 전달하여 능동적인 대피가 가능하도록 지원체계를 마련하고자 하는 관점에서 본 연구의 중요성이 강조된다.

1.2 연구의 목적

만일 화재발생 시 비상구 유도등이 화재 위치를 인지하여 항상 안전한 방향만을 표시해 주고, 감지기가 수집한 화재 확산 정보가 실시간으로 대피로 결정에 사용될 수 있으며, 확실적인 안내방송이 아니라 대피현장 위치별 맞춤형 안내방송을 할 수 있는 즉, 스마트에이전트 일체형 센서를 통해 수집된 재난상황 정보가 중앙방재실에서 3D 공간모델 기반으로 모니터링 되고, 대피 실행을 위한 실시간 안전한 대피경로가 자동으로 결정되어 그 결과가 실제 대피 현장에 설치된 스마트 안전 에이전트에게 전달될 수 있다면 단순 명료한 대피안내로 인하여 재난상황에서 가장 정확하고 신속한 대피안내가 가능할 것이라 여겨진다.



그림1.2 스마트 안전 에이전트가 결합된 IoT의 구현

따라서 본 연구에서는 Time Expanded Minimum-cost Maximum-flow Algorithm을 사물인터넷 기반 스마트 안전 에이전트에 활용한 화재대피 시스템을 도시철도에 최초로 적용하여 도시철도 전동차, 역사, 본선 터널 내 스마트 안전 에이전트를 저전력 광대역 통신망으로 연결함으로써 재난 발생 시 사고 위치와 상황 정보를 수집하고, 이를 반영한 안전 대피경로 산출 및 현장에서의 실시간 비상대피로 안내에 대한 효용성을 입증하고자 하였다.

기존의 획일적, 형식적 대피 훈련이 아닌, 다양한 상황을 가정한 실제와 같은 모의훈련을 수행하고, 대피 과정의 모든 데이터가 축적되어 대피 효율성 검증 및 기존 대피경로의 구조적 개선이 가능해진다. 실시간 센서 디바이스 감지 정보 및 시설 전체를 대상으로 하는 고립지점 및 안전한 경로 정보는 구조 활동을 수행 중인 소방대원들에게도 제공되어 구조 효율성을 높이고, 소방대원들의 안전까지도 획기적으로 높일 수 있게 된다. 이에 본 연구의 목적은 도시철도 최초로 스마트 안전에이전트를 사물인터넷 기반으로 적용하여 그 효용성을 입증함에 있다.

II. 재난안전 비상대피 시스템 알고리즘 적용

2.1 기 연구된 재난안전 비상대피 알고리즘 소개

먼저 승객 위치정보 기반의 지하철 분산대피 안내 시스템에 대한 내용으로서 최근 지하철 역사는 지하철 승강장 역할 뿐 만아니라 환승 쇼핑물 영화관 등의 다양한 편의시설과 결합하여 대형화 복잡화 되어가고 있는 추세에 이러한 지하철 역사의 복잡도 증가에 비해서 비상시를 대비한 대피 경로, 대피안내 등의 대비체계는 부족한 실정이다.

이를 해결하기 위해 현재 지하철에 설치되어 있는 Access Point(AP)와 실제 통계자료를 이용하여 지하철 각 객차의 전체 승객수를 추정하고 추

정된 승객수와 지하철 역사의 출구 정보를 기반으로 각 객차의 승객대피 경로를 방향지시등과 스마트폰의 Push 알람을 통해 제공함으로써 비상시 지하철 승객의 신속하고 안전한 대피시스템에 대한 내용으로 Open Wrt 임베디드 OS가설치된 AP를 이용하여 접속자수를 추정하는 방법에 대한 시뮬레이션을 통해 승객수를 추정한 결과 신뢰구간 파라미터에서 15%, 17% 그리고 23%의 평균 에러율을 보여 준 연구이며,

전체 승객수 추정시 모 집단의 신뢰구간 추정에 의해 대략적인 전체 승객 수 추정방식을 이용하여 추정하였으며, 전체 승객 수의 신뢰구간은 통계적 데이터와 실제 AP를 이용하는 승객의 수에 대해 조사한 내용을 바탕으로 얻은 샘플비율을 사용하였다.[1]

또 다른 연구로는 GETAWAY 프로젝트를 들 수 있다. 재난상황 발생 시 비상대피표지판은 재난을 당한 사람들에게 도움을 줄 수 있다. 그러나 좀 더 효과적이려면, 사용자 먼저 표지판을 볼 수 있어야 하는데 사람들의 38%만 응급상황에서 현재 표준 수동 표지판을 볼 수 있었다는 관점에서 대피 인원 에 대한 효율적인 시인성을 보장하는 비상표지판 시스템에 대한 연구를 한 것으로 혁신적인 표지판 시스템을 통해 재난상황에서 안전을 개선하려고 한 것이다. 시스템에 대한 구성은 그림 2.1과 같으며,

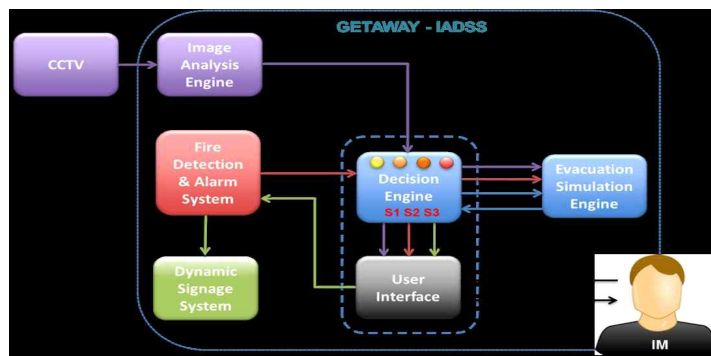


그림 2.1 The GETAWAY-IADSS concept and its components

온도와 연기 센서의 지속적인 측정을 통해 화재사고의 전개를 감시할 수 있는 화재 감지 및 경보 시스템(FDAS)과 이미지 분석 엔진(IAE)을 두어 CCTV 카메라의 영상에 기초하여 영향을 받는 영역의 승객의 수를 추정하고, 대피 사전 대피 시나리오를 기반으로 실시간 피난 시뮬레이션을 보다 빠르게 수행할 수 있도록 시뮬레이션 엔진(ESE)을 설계하였으며,

시뮬레이션 시나리오는 평가를 위한 의사 결정 엔진에 전달된다. 결정 엔진(DE)은 GETAWAY 구성 요소들 사이의 데이터 흐름을 제어함으로써 대피 시뮬레이션 엔진(ESE)으로 피난 시뮬레이션을 수행하기 위해 전달한다. 대피 시뮬레이션 엔진(ESE)으로부터 받은 대피 시나리오를 비용 함수에 기초하여 평가하고 순위를 매긴다.

결정 엔진(DE) 사용자 인터페이스(UI)는 최적의 대피 시나리오와 함께 화재 사건에 대한 다른 중요한 정보를 표시한다.

이 정보에 기초하여, 사고 관리자는 안전하게 승객을 안내하기 위하여 피난 시나리오를 선택하고 동적 신호 시스템(DSS)을 활성화 시킬 수 있다.

상기와 같이 구성된 시스템에 대한 시험결과 103 %의 긴급 표지판의 검출 능력을 향상시킬 수 있었다고 프로젝트 연구에서는 밝히고 있으며, 대피 시나리오 시뮬레이션은 세 배 빠르게 실시간보다 수행 될 수 있어 최적의 대피 경로로 유도할 수 있다고 또한 말 하고 있다.

이러한 정보는 재난상황 대피 시 사고 관리자에게 제공되어 최적의 코스 결정에 도움이 될 수 있을 것이라 사료되나 최적의 저전력 광대역 무선 통신망과 Time Expanded Minimum-cost Maximum-flow Algorithm을 적용하여 사물인터넷 기반 스마트 안전 에이전트를 활용한 본 연구와는 차이점을 보인다.[2]

또한, A network flow model for lane-based evacuation routing 이라는

연구에서는 대피 상황에서의 지연 발생은 특수한 경우를 제외하고는 통로가 아닌 교차로에서 발생한다고 보고 교차로에서의 지연 감소를 위해 Lane-based routing 제안하였으며, Lane-based routing을 이용하여 교차로에서 발생하는 혼선들을 방지하여 지연 상황에 대한 최소화 방안을 연구하였다.

기본적으로 minimum-cost flow 문제를 가정하고, 추가로 교차로에서 road block과 traffic pylon을 이용하여 대피자들의 중첩 방지 및 대피 경로를 설정하여 시뮬레이션 네트워크에 해당하는 가상의 공간에서 시뮬레이션을 시행한 결과, 대피 경과 시간이 32~40% 가량 감소됨을 보였다.[3]

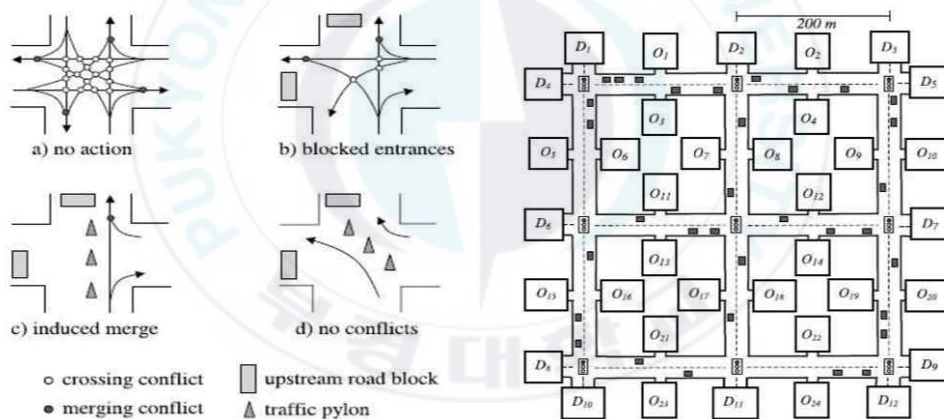


그림 2.2 Road block, Traffic Pylon 사용 예 및 시뮬레이션 네트워크

Emergency Evacuation Model and Algorithms 연구는 기본적으로 minimum-cost flow 문제를 가정하고, 시간 지연이 포함된 미분방정식 해결을 위해 Pontryagin's minimum principle을 적용하여 실시간 traffic 정보를 업데이트하였다. 알고리즘 1에서는 실시간 업데이트 된 정보를 바탕으로 각 node에서의 최적 방향과 iteration step length를 결정하고, 알고리즘 2

에서는 실시간 업데이트 된 정보를 바탕으로 자연 상황 발생 시 각 node에서 최적 방향으로 이동할 vehicles(대피자의 의미)의 수를 결정하여 총 82명의 대피자들이 전원 사고 발생지점 (A)에서 안전지대 (E, G, H)로 대피하기까지 536초 소요됨을 보여줌으로서 실시간 정보 업데이트를 통해 재난 상황의 불확실성과 예기치 못한 상황에 적절한 대처가 가능하다고 이야기하고 있다.[4]

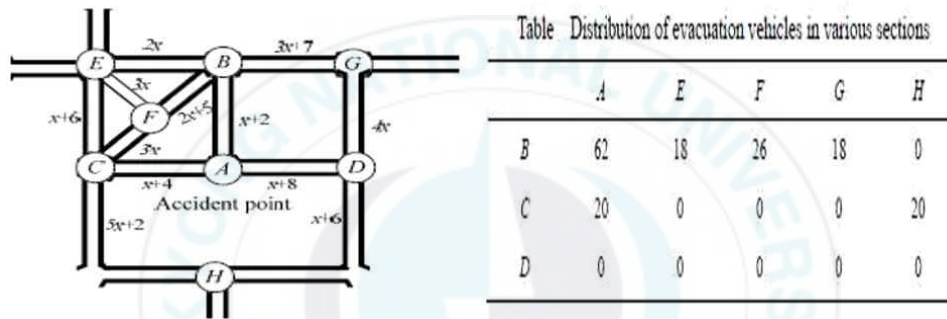


그림 2.3 시물레이션 네트워크 및 각 노드들 사이를 지나가는 대피자 수

On the use of multi-stage time-varying quickest time approach for optimization of evacuation planning의 연구에서 보면 최소 대피 시간을 구하기 위해 building evacuation에 특히 더 적합한 Multi-Stage Time-Varying Quickest Flow approach(MSTVQF)를 적용하여 Static minimum-cost flow 문제를 기반으로, time-varying dynamic 모델로 확장 후 single-source single-sink 모델에서 multi-source multi-sink(MSMS) 모델로 확장함으로써 재난 상황의 불확실성의 해결을 위해 phased-evacuation strategy를 적용한 모델로 Hamacher et al., Hooks et al.의 알고리즘을 phased-evacuation 문제에 적합하게끔 수정해서 사용하였고. Dynamic residual network 상에서

shortest route를 찾기 위해 Label-correcting 알고리즘을 적용하였다. 문제에서 4, 6, 8층에 거주하는 나이가 많은 거주자들에게 높은 우선순위를 책정, 해당 거주자들은 290초의 대피시간이 소요되었고, 그 외의 거주자들은 500초의 대피시간이 소요됨을 보였다.[5]

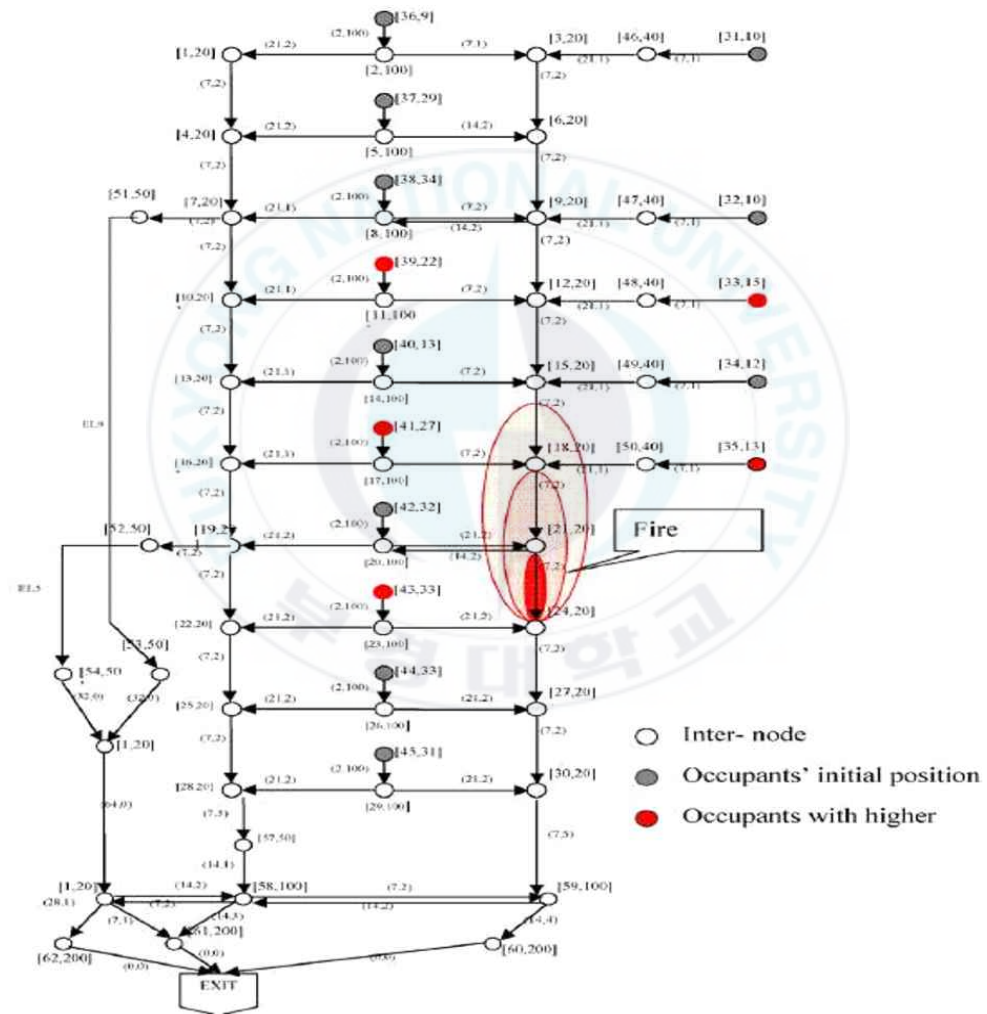


그림 2.4 시뮬레이션 네트워크

Reliable evacuation planning via demand inflation and supply deflation이라는 연구에서는 대피자의 수와 대피로의 capacity에 대한 불확실성을 고려하여 소요 시간을 cost로 고려한 minimum-cost flow 문제를 기반으로 하되, 높은 신뢰도를 위해 추가적인 대피자(demand inflation)와 더 낮은 수준의 대피로 capacity(supply deflation)를 설정하여 User-specified reliability level에 따라 서로 다른 수준의 demand inflation/supply deflation의 수치를 결정하는 프레임워크 제공하였다. 하지만 소규모 네트워크에 해당하는 결과만 상용 LP solver인 GAMS/MINOS 5.51을 이용해도출함에 따라 대규모 네트워크에 해당하는 문제 해결을 위해서는 decomposition과 같은 기법이 필요하다.

대피 상황에서 예기치 못한 상황으로 인해 대피 계획을 수정해야 하는 상황의 발생 방지를 위해 reliability를 중점적으로 고려한 연구이며 대피 경로 선택을 위해 Dynamic Traffic Assignment (DTA) 기반 모델을 활용하였다.[6]

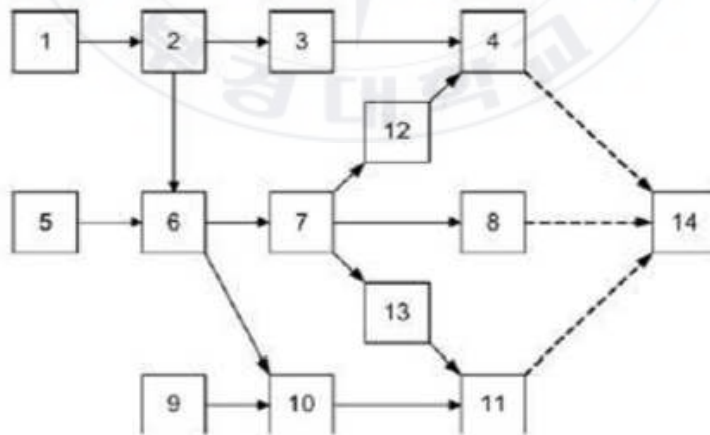


그림 2.5 시뮬레이션 네트워크

Cell	Time						
	0	1	2	3	4	5	6
1	27	15	7	0	0	0	0
2	0	12	8	7	0	0	0
3	0	0	12	8	7	0	0
4	0	0	0	12	8	7	0
5	15	3	0	0	0	0	0
6	0	12	3	0	0	0	0
7	0	0	12	3	0	0	0
8	0	0	0	12	3	0	0
9	32	20	12	0	0	0	0
10	0	12	8	12	0	0	0
11	0	0	12	8	12	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	12	44	67	74

표 2.1 Demand inflation을 고려하지 않은 경우, 각 Cell별 대피자 수

Cell	Time								
		1	2	3	4	5	7	8	9
1	51	39	31	19	11	0	0	0	0
2	0	12	8	12	8	11	0	0	0
3	0	0	12	8	12	8	11	0	0
4	0	0	0	12	8	12	8	11	0
5	28	16	8	0	0	0	0	0	0
6	0	12	8	8	0	0	0	0	0
7	0	0	12	8	8	0	0	0	0
8	0	0	0	12	8	8	0	0	0
9	60	48	40	28	20	8	0	0	0
10	0	12	8	12	8	12	8	0	0
11	0	0	12	8	12	8	12	8	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	12	44	72	100	120	139

표 2.2 Demand inflation을 고려한 경우, 각 Cell별 대피자 수

2.2 본 연구에서 적용된 알고리즘

2.2.1 알고리즘 적용 목적

재난 대피 알고리즘은 네트워크상에 존재하는 사람들을 최대한 빠르게 안전한 장소로 이동시키는 것을 목적으로 한다. 상기 목적을 위해서 Time expanded modeling을 이용해 단위시간 단위로 확장한 네트워크에서의 Shortest path를 구한다. Shortest path의 시작점은 사람들이 존재

하는 모든 공간이 될 수 있고, 도착점은 사람들이 안전하게 대피되었다고 판단할 수 있는 모든 공간이 될 수 있다. Shortest path에서의 cost는 네트워크를 구성하는 arc들 중 사용된 arc들의 이동시간의 합으로 정의된다. Shortest path algorithm의 결과로는 최단 거리를 보장하는 하나의 경로만이 생성되기 때문에 이를 대피시켜야 할 대상의 숫자가 0이 될 때까지 반복함으로써 동시에 움직이는 대피 대상자들의 flow를 최대화 시킨다.

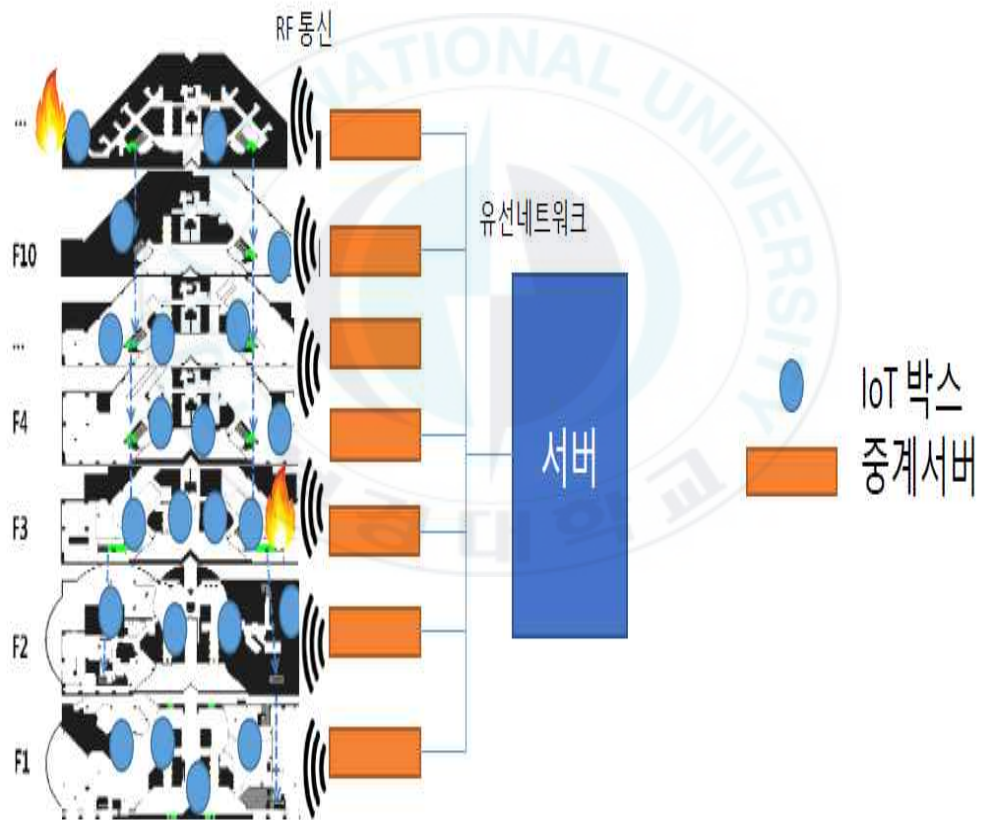


그림 2.6 중앙 집중식 제어 알고리즘 시스템 구조

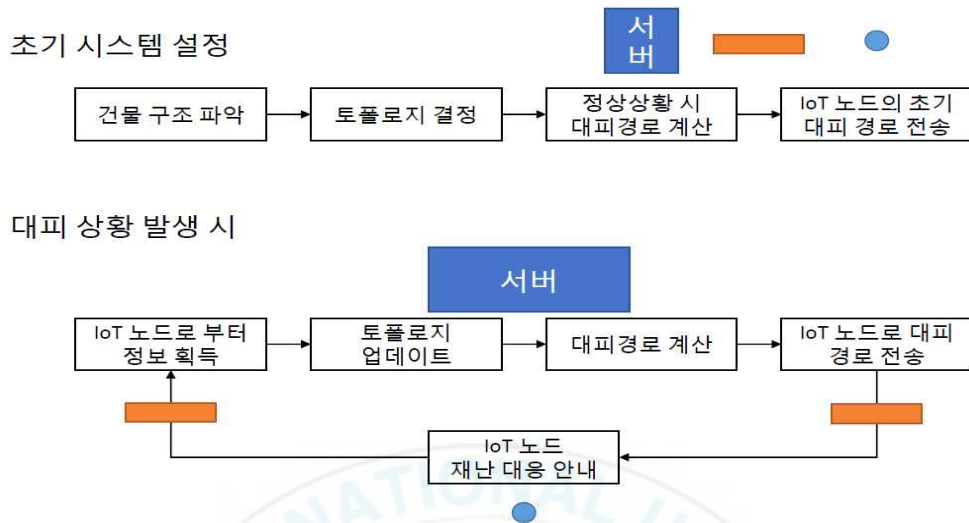


그림 2.7 중앙 집중식 제어 알고리즘 워크플로우

중앙제어식 제어 알고리즘 시스템 구조의 특징은 중앙 서버에서 모든 계산을 수행하며, IoT박스는 센싱 및 통신 기능만을 담당(계산 기능 최소화)한다. 따라서 서버와 박스간 통신의 신뢰성이 매우 중요하다고 할 수 있다. 알고리즘은 동적 최적 경로 추출 알고리즘(Shortest Path Problem 의 응용)으로 중계서버와 IoT박스간 통신 알고리즘으로 신뢰성 보장을 위한 최적의 topology 산출 알고리즘이다.

알고리즘의 적용목적을 기능적인 면에서 살펴보면,

가) 대피 경로 안내는 특정 공간에 존재하는 대피 대상자들에게 시간 별 이동 방향을 지시하고 이동 방향을 도출하는 방법은 알고리즘 원리에 해당 된다.

나) 병목 현상 방지 기능으로는 시간 별로 특정 arc를 원활하게 지나갈 수 있을 만큼의 사람들만을 해당 arc에 배정하고, 다수의 사람들이 다수의

경로를 통해서 움직이는 것을 고려해서 서로 다른 경로들이 중첩되는 경우에도 병목 현상으로 인해 대피 대상자들이 갇힌 상태로 화재에 노출되지 않도록 경로를 생성한다.

- 다) 고립된 공간 발견 및 알림 기능으로 Shortest path algorithm을 이용해서 주어진 네트워크 상황에서 어떤 공간들이 고립되어있는지 판단하고 해당 사실을 대피 관리자에게 전달한다. 판단하는 방법은 모든 공간들에 대해서 모든 출구로의 최단경로를 구했을 때, 어떠한 출구로도 연결된 경로가 도출되지 못하는 경우에는 고립된 공간으로 판단한다.
- 라) 대피 대상자들의 위치 approximation 기능으로 기존 알고리즘의 시행결과 주어진 경로를 통해서 대피 대상자들이 이동한다고 가정했을 때, 대피 도중에 네트워크에 변동이 있어서 다시 문제를 해결해야 하는 경우, 대피 대상자들의 초기 위치와 대피를 실행한 시간을 이용해서 현재 네트워크를 구성하는 각 공간들에 몇 명의 사람들이 존재하는지를 추정한다.
- 마) 현실적인 고려 사항으로 다수의 층을 가지고 있는 네트워크의 경우, 대피 대상자들에게 출구와 멀어지는 방향으로 층계를 이동하는 경로가 도출될 가능성이 존재한다. 이 경우, 대피 대상자들이 알고리즘 실행결과에 대해 의구심을 가질 가능성이 있으므로 층계를 역행하는 경로를 제거하는 기능을 구현한다. 역행을 방지하는 방법으로는, 출구와 멀어지는 방향의 층계를 포함하는 arc의 cost에 penalty를 부여하는 방법을 사용한다. 예를 들어서, 출구가 하층부에 존재하고 계단을 내려가는 cost가 10초인 경우, 계단을 올라가는 cost에는 각 네트워크에 적합한 수준의 penalty를 부여해서 가능하면 계단을 오르는 방향의 arc를 경로에 포함시키지 않도록 유도한다.

2.2.2 본 연구의 알고리즘 적용 해석

본 논문에서 제시한 Algorithm은 Time Expanded Minimum-cost Maximum-flow Algorithm으로 주어진 Network system (Node & Arc)에서 발생할 수 있는 총 cost를 최소화하면서 flow를 최대화 시키는 algorithm이다.

먼저 Cost 정의는 주어진 문제에 따라 다르게 정의된다. 주어진 Evacuation problem에서는 각 arc의 travel time을 cost로 정의하고, 최종 대피자가 system 밖으로 나가는 순간까지 발생하는 모든 cost의 총합을 최소화하는 것을 목적으로 하고, Flow 정의는 Network에 포함된 arc를 이용하는 개체의 수를 의미한다. 즉, Evacuation problem에서는 탈출을 위해 arc를 사용해서 이동하는 대피자의 수로 정의하고, 총 flow의 합을 최대화시키는 것을 목적으로 한다.

다시 말해 Evacuation Algorithm은 Cost를 최소화시키면서 매 시간 Flow를 최대화시킴으로 가능한 빠른 시간 내에 많은 사람들을 안전한 장소로 대피시키는 것을 목적으로 한다.

Time Expanded를 정의하면 비상상황 시 그림 2.8과 같이 기존 탈출 경로 안내는 시간을 고려하지 않고 단순히 경로만을 지도상에 표시한다. 이 경우, 병목 현상이 발생해서 대피에 지장을 주게 되는 반면, 그림 2.9와 같이 Time Expanded Evacuation Algorithm은 이를 방지하기 위해서 대피자의 이동 경로를 시간에 따라 병목 현상이 발생하지 않도록 지정하는 방식을 적용한 Algorithm이다.

기존의 탈출 경로 안내는 그림 2.8과 같이 단순히 경로를 안내하기 때문에 이 경우 다음과 같이 2가지 문제가 발생할 수 있다
먼저 주어진 경로 외에도 이용 가능한 많은 탈출 경로들을 활용할 수 없는

단점이 있다. 이러한 탈출 경로들을 모두 사용할 수 있다면 더 효율적으로 대피할 수 있음에도 최초로 정의한 탈출 경로만을 이용한다.

또한, 화재 발생 건물의 특징으로 인해 7번, 8번 node로 유입되는 사람의 수가 탈출하는 사람의 수보다 클 경우 화재 대피 시 특정 경로에 병목 현상이 발생할 수 있다.

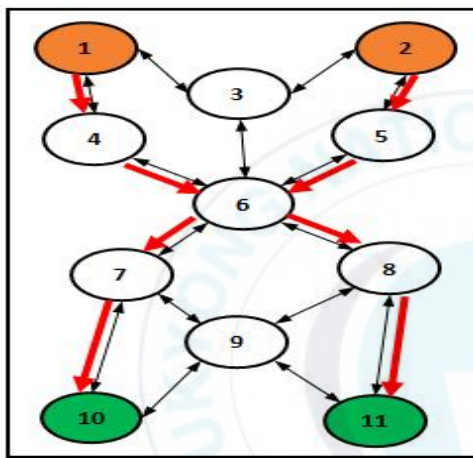


그림 2.8 기존 일반적인 대피

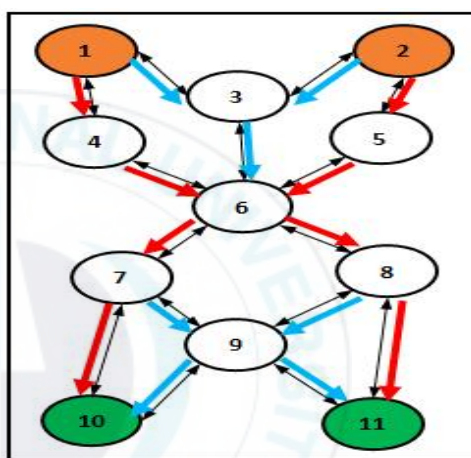
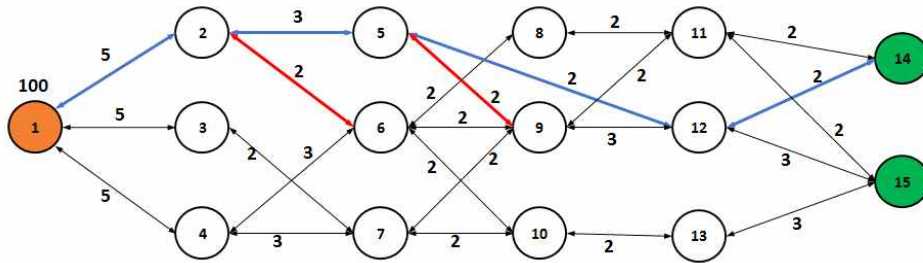


그림 2.9 분산대피 알고리즘 적용

이러한 문제를 본 논문에서 제시한 Time Expanded Evacuation Algorithm을 통해 해결할 수 있다.

Maximum flow를 이용해 주어진 경로 1-4-6-7-10외에도 1-3-6-7-10, 1-4-6-7-9-10 등의 경로를 활용해서 같은 시간에 최대한 많은 flow를 발생 시켜서 효율을 높일 수 있다.

Time expanding을 이용해 7-10, 8-11 구간에서 병목 현상이 발생되기 시작하는 시간부터는 7-9-10, 8-9-11 등 우회하는 경로를 선택해서 특정 시간에 특정 장소에 병목 현상이 발생하는 빈도를 줄일 수 있다.



Arc 위의 숫자는 각 Arc를 매 초 동시에 사용할 수 있는 사람의 수이다. (Capacity-통로의 폭에 비례)

그림 2.10 알고리즘 구조 1

위 그림 2.10과 같이 1번 Node에 총 100명의 사람이 대기 중이고 14, 15번 Node로 탈출해야 하는 상황을 가정하고 있으며, 이를 이용하여 본 알고리즘의 수행 절차를 보다 자세히 설명하고자 한다.

기존 건물 내의 비상구 유도 표지판이 Path 1-2-5-12-14로 안내를 한다고 가정했을 때, 2-5 경로의 capacity가 3이므로, Node2에 도착한 5명 중 3명만이 병목없이 2-5 경로로 이동 가능한 상황이 되며, 이 때 Node2에 도착한 5명 중 2명에 대해서는 병목이 발생하게 된다.

한편, Node2를 거쳐 Node5에 도착한 3명 중 5-12 경로로 병목 없이 이동할 수 있는 인원은 2명이므로 Node5에서 다시 1명의 병목이 발생함을 알 수 있다. Node2, Node5를 거쳐 Node12에 도착한 2명은 12-14 경로로 병목 없이 이동하여 최종 출구로 탈출을 완료하게 된다.

즉, Node2와 Node5에서 발생한 병목을 해소하기 위해서는 경로 2-6, 경로 5-9 등에 대한 안내도 동시에 필요하게 됨을 알 수 있으며, 이는 단순한 최단 경로 알고리즘만으로는 목적을 달성 할 수 없고, 단위 시간에 사용 가능한 Arc Capacity를 최대화하는 Max flow 방식이 병행되어야 함을 시사한다.

이와 같이, 기본적으로 Capacity가 큰 경로로 최대한 많은 사람들의 대피를 유도(Max-Flow)하면서, 각 경로별 이동소요시간을 고려했을 때 최소 시간이

걸리는 경로들로만 유도(Min-Cost)하고, 위치별/시간대별 병목 발생 상황을 예측하여 시간대별로 변화되는 안내(Time-Expanded)를 함으로써, 총 대피 소요시간 동안 병목 현상 발생 가능성을 최소화하는 것이 본 알고리즘의 핵심 내용이다.

위 대피 상황 모델을 기반으로 보다 세부적인 알고리즘 수행 절차를 다음과 같이 설명할 수 있다.

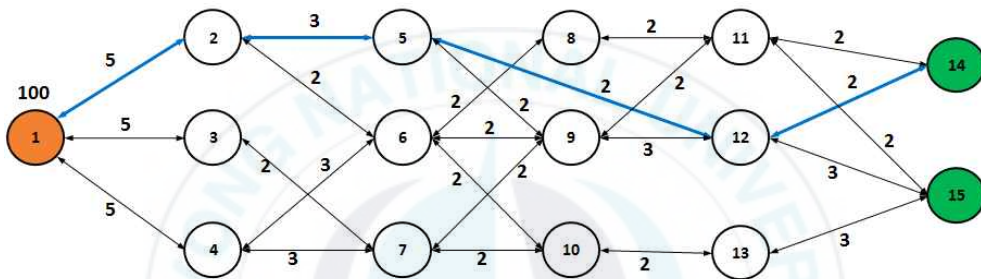


그림 2.11 알고리즘 구조 2

Path 1) 1 - 2 - 5 - 12 - 14 Path에 포함된 Arc 중 가장 작은 Capacity를 가지는 Arc = (5 to 12; Capacity = 2)

-> Path 1 을 통해서 총 2명의 사람이 병목 없이 대피

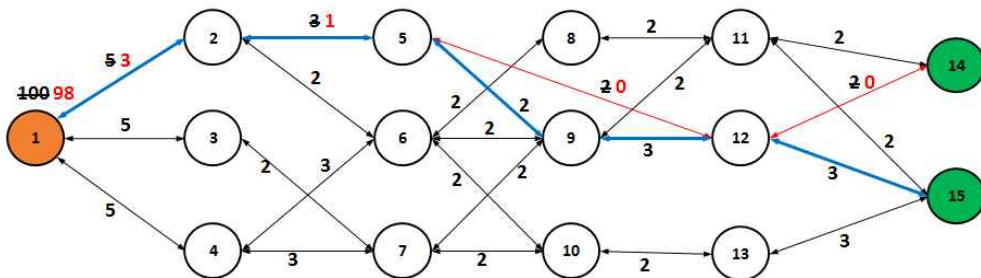


그림 2.12 알고리즘 구조 3

Path 2) 1 - 2 - 5 - 9 - 12 - 15 Path에 포함된 Arc 중 가장 작은 Capacity of Arc = (2 to 5; Capacity = 1)

-> Path 2 를 통해서 총 1명의 사람이 병목 없이 대피

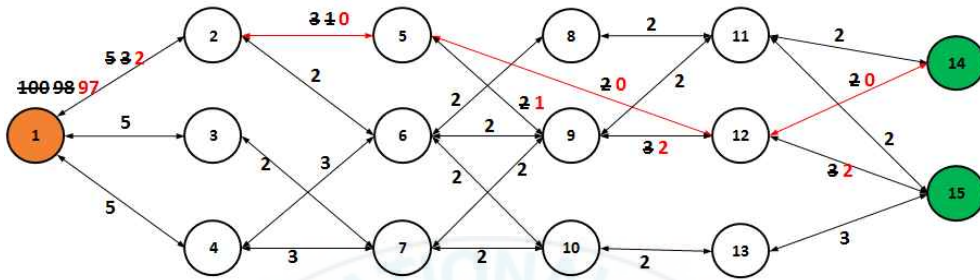


그림 2.13 알고리즘 구조 4

위와 같은 과정을 모든 Path에 대해서 시행하여 각 Node별 초기 안내 방향을 설정하고, 추가로 시간대별 이동 상황 변화 내용을 반영하여 Node별 안내 변경 시점을 결정하게 된다.

기존 비상구 유도 표지판의 경우, 통로의 폭과 관련된 Capacity를 고려하지 않아 병목 현상이 발생할 수밖에 없으나, 본 알고리즘의 경우 위와 같은 과정을 거쳐 병목 현상 발생을 최소화할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

	본 알고리즘의 안내 방식	기존 비상구 유도 방식
흐름 최대화 (Max-Flow)	- Max-Flow 효과를 지향함으로써, 사람들이 대기하고 있는 장소에서 최대한 많은 흐름을 유도하여 빠른 시간 내에 빌딩 안의 사람들이 모두 안전지대로 탈출 할 수 있도록 안내	- 사람들이 대기하는 장소에서 모든 출구로 이어지는 하나의 경로만을 안내
이동시간 최소화 (Min-Cost)	- 각 지정간 이동 시간을 고려하여 이동 시간을 최소화시키는 방식을 추가하여 흐름 최대화의 결과로 나온 다양한 path 중 가장 빨리 탈출할 수 있는 경로로 안내	- 도면 상의 최단 거리로 탈출할 수 있는 경로를 가리킴
혼잡상황 방지 (Time Expanded)	- 시간을 고려하지 않고 특정 경로로 사람들을 지속적으로 대피시킴으로써 발생하는 병목 현상을 Time Expanded modeling 방식을 통해 매시간 혼잡하지 않은 경로로 안내	- 혼잡 상황에 대한 고려는 없음 (일반론적인 층별 순차대피 정책 및 안전관리자들의 현장 안내에 의존)

표 2.3 기존 대비 알고리즘 특성 비교

아래의 표 2.4는 현재 오픈 소스로 공개된 C++로 구현된 Edmonds-Karp Algorithm(Existed Algorithm)과 Time Expanded Min Cost Max Flow problem을 상용 optimization 소프트웨어인 CPLEX / Gurobi를 통해 Linear programming으로 해결한 결과를 비교한 표이다.

알고리즘의 목표에 해당하는 최종 탈출 시간은 optimal을 보장하는 Linear programming 결과와 동일하며, 문제 해결 속도 역시 유료 상용 optimization 소프트웨어인 CPLEX와 Gurobi에 비해 월등히 성능이 우수함을 표 2.3에서와 같이 확인할 수 있었다.

	CPLEX	Gurobi	Existed Algorithm	Our Algorithm
최종 탈출 시간	193 sec	193 sec	193 sec	193 sec
평균 탈출 시간	106.5 sec	106.5 sec	106.5 sec	107.35 sec
속도	6.65 sec	9.11 sec	>1.5 hour	<0.5 sec

표 2.4 세계적인 알고리즘과의 성능비교

2.2.3 알고리즘 정의

NodeInfo struct는 각 Node(건물에 설치될 스마트에이전트와 대피 상황 발생 시 그 스마트에이전트의 지시를 받게 될 인접 공간)의 정보를 담은 구조체로서 ID, Capacity, Supply, Floor, Status로 두며, 다음과 같이 정의할 수 있다.

- ID : 각 Node의 구분을 위한 index.
- Capacity : 해당 Node에 수용 가능한 최대 인원. (단위 : 명)

- Supply : 상황 발생 시 해당 Node에 머무르고 있는 대피자의 수. (단위 : 명)
- Floor : 해당 Node가 설치된 구조물의 층 정보.
- Status : 해당 Node의 상태를 구분하는 parameter. 상태 분류에서 0은 정상/이용가능 상태, 1은 고립상태, 2는 화재 및 연기로 인한 이용 불가능 상태.

ArcInfo struct는 각 Arc(Node와 Node 사이를 연결하는 통로)의 정보를 담는 구조체로서 ID, Capacity, TravelTime, Origin, Destination로 두어 정의할 수 있다.

- ID : 각 Arc의 구분을 위한 index.
- Capacity : 단위 시간당 해당 Arc를 동시에 통과할 수 있는 최대 인원.
(단위 : 명/단위 시간)
- TravelTime : 해당 Arc의 Origin Node로부터 Destination Node까지 이동하는데 걸리는 시간. (단위 : 단위 시간)
- Origin : 해당 Arc가 시작되는 Node의 ID.
- Destination : 해당 Arc가 끝나는 Node의 ID.

알고리즘 구현을 위한 Interface를 설명하면,

모든 Node에 대해 NodeInfo를 저장한 NodeList와 모든 Arc에 대해 ArcInfo를 저장한 ArcList를 vector 형식으로 입력한다. 그리고 다음과 같은 output을 저장할 4개의 vector array를 선언 후 reference로 입력한다.

(3D int vector array) solutionX

: solutionX[node a][node b][time t] = x의 형태로, 매시간 t에 node a에서 node b로 이동하는 대피자의 수를 나타낸다. 최초 알고리즘 실행 시 solutionX는 empty 상태이고, 결과 값이 저장되면 직전에 저장된 결과 값을 그대로 넘겨준다.

(2D int vector array) solutionY

: solutionY[node a][time t] = y의 형태로, 매시간 t에 node a에 머무르는 대피자의 수를 나타낸다. 최초 알고리즘 실행 시 solutionY는 empty 상태이고, 결과 값이 저장되면 직전에 저장된 결과 값을 그대로 넘겨준다.

(1D int vector array) IsolatedNode

: IsolatedNode = [node a, b, c, ...]의 형태로, 알고리즘의 결과가 도출된 시점에서 고립된 node들의 ID를 저장한다.

(1D int pair vector array) DisplayNode

: pair<first, second>의 형태로, first에는 현재 Node의 ID, second에는 이동해야 할 Node의 ID를 저장한다.

NodeInfo는 그림 2.14에서, 빨간색으로 표시된 부분이 스마트에이전트의 설치 위치, 즉 Node이며,

Node 위에 표시된 원 안의 숫자가 각 Node의 ID가 된다.

1 ~ 6번, 8 ~ 13번 Node는 일반 Node로 평상시에 대피자가 머무르는 장소가 아닌 Node이다. 7번 Node는 Source node로 상영관, 매점 등 평상시에 대피자가 머무르는 장소이다. Source node에만 Supply가 0보다 큰 int 값이 지정된다. 96 ~ 98번 Node는 Exit Node로 탈출의 최종 도착지가 된다. Exit Node는 Capacity가 INFINITE이다.

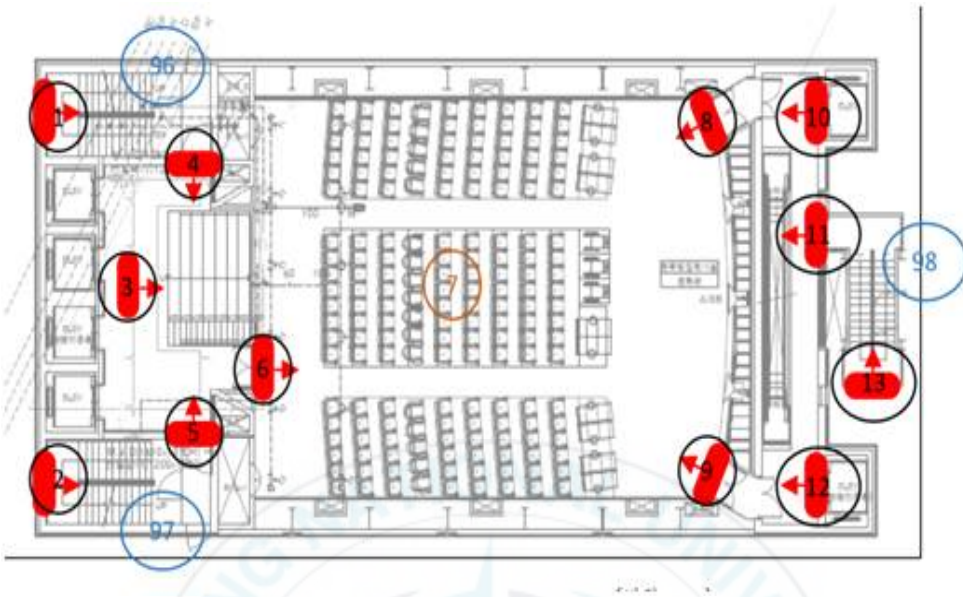


그림 2.14 각 노드별 부연설명을 위한 요식도

Node Status (0 : 정상/이용가능 상태, 1: 고립 상태/회복 가능, 2: 화재 및 연기로 인한 이용 불가능 상태/회복 불가능)에 대하여 좀 더 설명하면, 정상/이용가능 상태 (0)의 경우, Node가 network에 정상적으로 연결이 되어있고, 해당 Node에 머무르는 대피자가 이동할 Node가 존재하는 상태이고,

고립 상태/회복 가능 (1)의 경우, 해당 Node가 화재나 연기로 인한 통신 두절 및 Node 이용 불가능 상태는 아니지만, 다른 Node의 이용 불가능 상태로 인해 Exit Node까지 도달할 수 없는 상태인 그림 2.15와 같이 case 1인 경우이거나, 알고리즘에 의한 대피자 분배로 인해 일시적으로 주위에 이용 가능한 Node/Arc가 없는 상태 case 2인 경우이다.

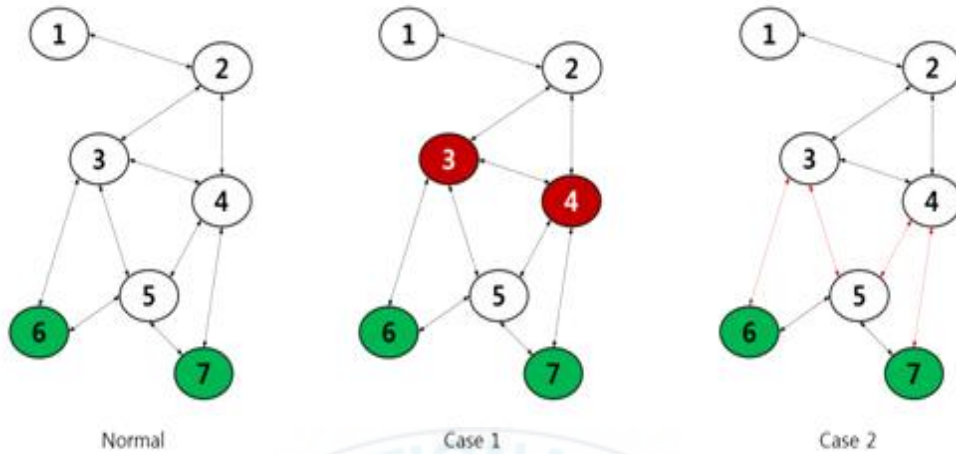


그림 2.15 각 노드별 상황

case 1의 경우 6 ~ 7번 Node가 Exit Node이고, 3 ~ 4번 Node에 화재가 발생 시 1 ~ 2번 Node의 경우 각 Node의 상태는 정상이지만 인접 Node의 이용 불가능 상태로 인해 고립된 상태이고,

case 2의 경우는 3 ~ 4번 Node에서 Exit Node로 가는 Arc들에 Arc Capacity만큼 대피자가 분배되어있는 경우로서 1 ~ 2번 Node는 일시적인 고립 상태가 된다. 일정 시간이 지난 후 회복이 가능하다.

화재 및 연기로 인한 이용 불가능 상태/회복 불가능 (2)의 경우, case 1의 3 ~ 4번 Node와 같이 직접적으로 화재가 발생하거나 연기로 인해 Node의 역할을 수행하지 못하는 상태이다.

2.2.4 알고리즘 동작 시나리오

그림 2.16과 같이 알고리즘 동작 시나리오 계획은 평시 입력정보인 Arc, Node, Population 등 네트워크 정보 및 Available, Shut down 등 네트워크

상태 등에 대하여 Next node 등 출력정보인 경로를 일정주기인 매 5분마다 정보 업데이트를 시행하며, 화재발생 등 특정상황 발생 시에는 발생 상황에 대한 정보를 업데이트하여 박스 Shut down, Node 단절 등 입력 정보 및 출력정보에 대하여 새로운 상황으로 업데이트 된다.

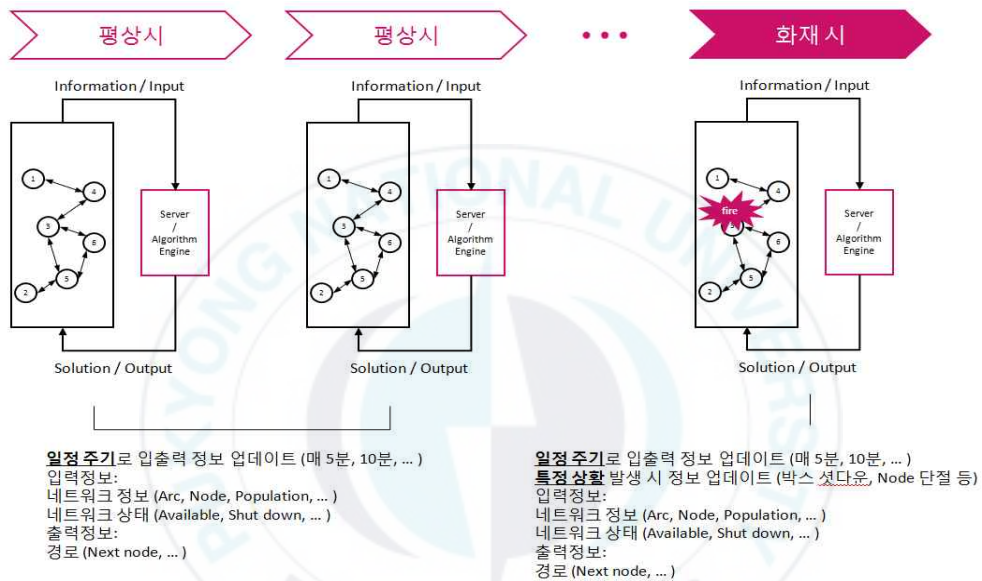


그림 2.16 알고리즘 동작 시나리오 계획

다음은 정보 입출력 과정으로 그림 2.17와 같이 Node ID, Node Capacity, Node Floor, Node Status, Supply, Arc Origin & Destination, Arc Travel time, Arc Capacity, Previous Solution등에 대한 새로운 정보 입력 업데이트가 진행되어 Time Expanded Max Flow problem을 적용한 알고리즘에 의하여 문제해결을 위한 솔루션을 도출하고, 도출된 솔루션을 스마트에이전트 출력메세지로 변경하여 전달된다.

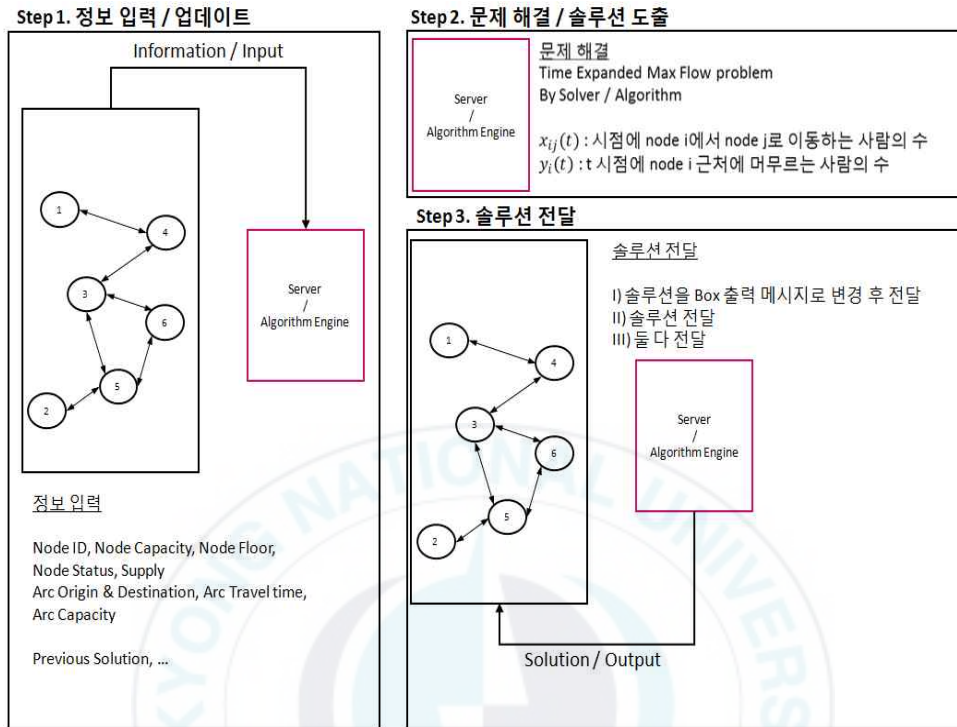
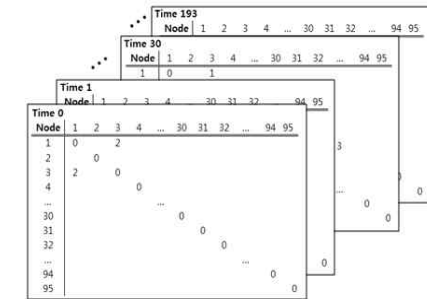


그림 2.17 알고리즘 동작 시나리오에 의한 정보 입출력 과정

또한, 정보 입출력 과정에서 도출된 솔루션을 스마트에이전트 출력메시지로 변경하는 방법은 그림 2.18과 같이 탈출 종료까지 각 시간별로 node간 이동하는 사람의 수를 제시하는 솔루션을 도출하고, 도출된 솔루션을 통합하여 각 시간별로 각 node의 path상에서의 다음 node를 확인한 후 각 node별로 가장 빠른 시간에 발생하는 이동 지시를 메시지로 간주 한다.

단, 네트워크 구성에 따라 최종 탈출 시간까지 이동 지시가 발생하지 않는 노드가 발생할 경우에는 메시지가 있는 가장 가까운 node로 이동할 수 있도록 방향을 제시한다.

솔루션-메시지 변환 방안(예시)



솔루션
탈출 종료까지 각 시간 별로 node간에 이동하는 사람의 수
제시

Node	Time	0	1	2	3	...	30	31	...	193
1		3	3	3	3	...	3	3	...	3
2			3	3	3	...	3	3	...	3
3				5	5	...	5	5	...	5
4					7	...	7	7	...	7
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...
30						...	48	48	...	48
31						...		52	...	52
32						...		52	...	52
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...
94						...			...	96
95						...			...	97

솔루션을 통합하여 각 시간 별로 각 node의 Path 상에서의
다음 node 확인 가능

Node	Next Node	Time to Exit	Exit ID
1	3	193	96
2	3	191	96
3	5	191	97
4	7	190	97
...	...	...	...
30	48	115	96
31	52	112	97
32	52	112	97
...	...	...	...
94	96	2	96
95	97	2	97

각 node별로 가장 빠른 시간에 발생하는 이동 지
시를 메시지로 간주

Node 1: Next node = 3 at Time 0

Node 2: Next node = 3 at Time 2

...

Node 95: Next node = 97 at Time 193

예외사항

1) 네트워크 구성에 따라 최종 탈출 시간까지 이동
지시가 발생하지 않는 Node가 발생



위와 같은 node의 경우, 메시지가 있는 가장 가까
운 node로 이동하게끔 방향 지시

그림 2.18 정보 입출력 과정에서 솔루션-메시지 변환 방법

비상상황 발생 시 알고리즘에 의한 비상대피 솔루션이 스마트에이전트에 전달되는 과정은 그림 2.19과 같이 첫 상황 발생에 대한 솔루션이 중계기를 거쳐 스마트에이전트에 전달되어 비상대피 명령을 수행하다가 추후 발생된 다음 상황에 대한 스마트에이전트 상황정보 수집 시 다시 중계기를 거쳐 알고리즘 엔진인 중앙 서버로 전달되고, 새로운 상황정보를 알고리즘 엔진은 수집·분석하여 새로운 솔루션을 메시지로 스마트에이전트에 전달한다.

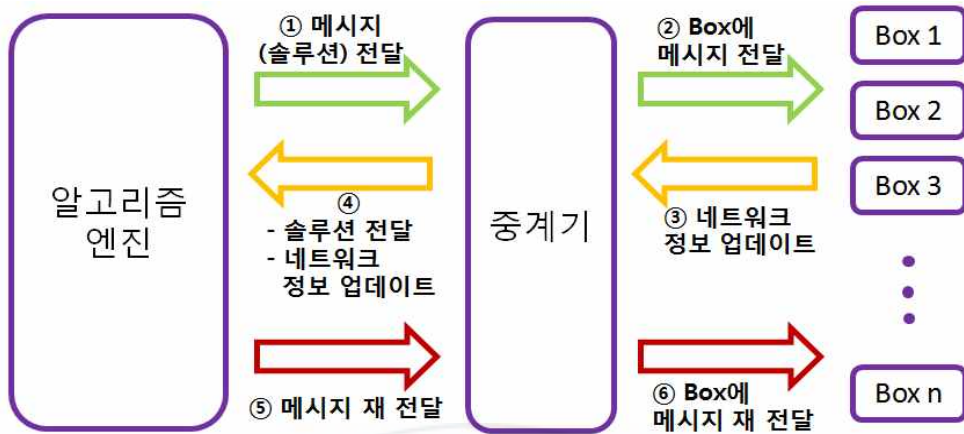


그림 2.19 알고리즘에 의한 비상상황 대피 솔루션

Ⅲ. 시스템의 도시철도 적용

3.1 도시철도 적용 연구 범위

3.1.1 IoT 기반의 도시철도 적용대상

가) 승강장/대합실, 터널 등 대상 스마트에이전트 적용

- 본 연구에 적용되는 재난안전 비상대피 시스템은 핵심 알고리즘인 Time Expanded Min Cost Max Flow problem을 적용한 공간 내 설치된 사물 인터넷 기술 기반의 대피 안내 스테이션인 스마트에이전트를 통해 재난 상황 시 최적의 대피로를 안내한다.
- 대피 안내 스테이션은 재난 상황 인지를 위한 센서 및 대피를 유도하는

현장 음성과 함께, 재난 상황 발생 시 사람들의 대피 방향을 안내해주는 화살표 및 조명을 활용하여 화재 및 연기 발생 시 효과적인 대피 유도를 하기 위한 최적의 시인성을 제공한다.

- 재난안전 비상대피 시스템의 핵심 알고리즘은 다음과 같이 총 4가지 모듈로 구분될 수 있다.
 - 스마트에이전트에 내장된 센서로부터 수신된 신호에 따라 재난 상황을 인지하고, 상황에 따른 대피 유도 안내를 전달하기 위한 Service Rule Engine 모듈
 - 안전한 대피를 위한 최적의 경로 추출 모듈
 - 추출된 최적의 대피 경로 정보에 따라 대피 안내 스테이션인 스마트 에이전트에 대피 유도 안내 방송 및 대피 경로 안내 신호를 전달하는 모듈
 - 스마트에이전트의 관리, 공간 정보 관리, 안내 음성 콘텐츠 관리, 대피 매뉴얼 관리 등을 위한 서비스 매니저

나) 승강장/대합실, 터널 등 대상 LoRa Gateway 통신

- 지하철 역사 승강장 및 대합실, 전동차 내부, 터널 구간 내부에 설치되어, 화재 발생 및 확산 시 온도변화와 연기·가스 감지정보를 해당 위치정보와 함께 LoRa 무선망 게이트웨이 장비로 전송한다.
- LPWA LoRa 무선망을 통한 인근 역무실 관제모니터링 서버로 IoT 센서 감지 정보를 전송한다.

다) 대피경로 네트워크 모델링 D/B

- 도시철도 역사/전동차/터널 내 재난 상황별 대피 매뉴얼 분석 및 시스템화를 위한 데이터 구조를 정의한다.
- 재난안전 비상대피 안내시스템 적용 방안을 수립한다.
- 스마트에이전트에서 수집한 정보를 기반으로 현재 상황을 파악하여 네트

워크 모델을 수정하는 기술을 제공한다.

- 재난으로 인한 스마트에이전트 및 중계기로부터 실시간 정보가 발생할 때 네트워크 상의 어느 곳에 문제가 발생했는지 상황인지 및 상황인지에 의한 사용가능한 네트워크를 재구성한다.

라) 상황인지 스마트 대피안내시스템 서버 환경

- 재난 안전 Rule 관리 및 재난대응에 대한 시각화/리포팅을 제공한다.
- 화재 감지 및 변화를 고려한 최적의 대피경로를 산출한다.
- 데이터 관리 및 통합적 연계를 실행한다.
- 안전 대피경로 산출을 실행한다.

마) 역사, 중앙 방재실 통합 모니터링 환경

- 역사/전동차 내 환경센서 위치 기반 모니터링을 실행한다.
- 환경센서 상태정보 실시간 조회 및 관리를 수행한다.
- 층별/전동차별 상태 관리를 수행한다.
- 센서 장비 오류/이벤트 발생 시 알림 Pop-Up을 현시한다.
- 센서 값 Level 변화에 따른 정보를 시각화한다.

바) 설치/관리용 모바일 앱 구축

- 모바일 앱 기반 환경센서 위치 정보를 등록 및 관리한다.
- 역사/전동차 내 환경센서 위치 기반 모니터링을 실행한다.
- 환경센서 상태정보에 대한 실시간 조회 및 관리를 수행한다.
- 센서 장비 오류/이벤트 발생 시 알림 Pop-Up을 현시한다.
- 센서 값 Level 변화에 따른 정보를 시각화한다.

3.1.2 주요 도시철도 적용 대상 기관에 대한 적용 분야

먼저 적용 대상 가능한 국내 전국 도시철도 기관으로는 한국철도공사, 서울메트로, 서울도시철도공사, 인천교통공사, 대구도시철도공사, 광주도시철도공사, 대전도시철도공사, (주)신분당선, (주)서울메트로9호선, (주)김해경전철 등 총 10개 기관이 있으며,

시스템 적용 분야로는 IoT 기반 도시철도 안전관리 운영 서비스로 기존 재난 상황에서의 대피 안내는 도시철도 내 안전관리 담당자의 판단 및 노하우에 전적으로 의존하였으나, IoT 기반 재난안전 비상대피 시스템을 도입하게 되면 전문화되고 지능화된 대피 안내 도구와 연계한 안전관리 및 대피안내 서비스를 제공할 수 있으며, 도시철도 역사/터널/전동차에서의 재난 상황 발생 시 공간별, 상황별로 대피 행동 요령을 명시적으로 안내하고 긴급 상황에서 자동화된 대피 안내를 실시간으로 제공함으로써 변화하는 재난상황에서 최적의 대피로 생성 및 안내재난 상황이 진행됨에 따라 시시각각 변화하는 최적의 대피로를 승객 및 도시철도 직원들에게 업데이트하여 제공할 뿐 아니라 도시철도 역사 내 안전관리 담당자가 대피 현황을 실시간으로 모니터링 할 수 있다.

또한, 대피유도 안내 절차 개선을 들 수 있다. 기존 재난 상황에서는 철도 안전관리 담당자가 배치되어 승객들의 대피를 유도하였으나, IoT 기반의 재난안전 비상대피 시스템을 적용함으로써 긴급 상황 발생 시 대피 골든타임을 확보하여 대피로를 유도하고, 재난 발생 시 기존의 단순한 비상유도등에 의존하였던 것을 조명과 천명부 LED 화살표, 내장 스피커를 통해 실시간 재난 상황에서의 행동지침을 시각적/음성적으로 안내 한다. 이는 안전 불감증 및 대피 절차에 대한 교육이 안 되어있는 승객들에게 명시적이고 간결한 대피 문구를 음성과 시각적으로 정보를 제공하여 역사/터널/전동차 내 재난 진행 상황과 연계된 대피 프로세스를 시각적으로

확인함으로써 순차대피, 자동대피 등 다양한 대피 Procedure를 실시간으로 적용하고 운용이 가능하다.

또한, 소방 인명구조 절차도 상당부분 개선이 가능하여 재난 상황 발생 시 도시철도 내 시설물의 재난 상황 진행 정도 및 이와 연계된 대피 진행 프로세스를 실시간으로 모니터링 하여 소방 인명구조 시 이와 관련된 정보 참조할 수 있다.

3.2 본 연구의 시스템 구성

본 연구인 사물인터넷 기반 스마트 안전 에이전트를 활용한 재난대피 시스템 도시철도 적용 연구에서는 우선 크게 스마트에이전트인 안내스테이션과 저전력광역통신망(LPWA) 그리고 모니터링 및 대피명령을 수행하는 중앙서버로 구분할 수 있다.

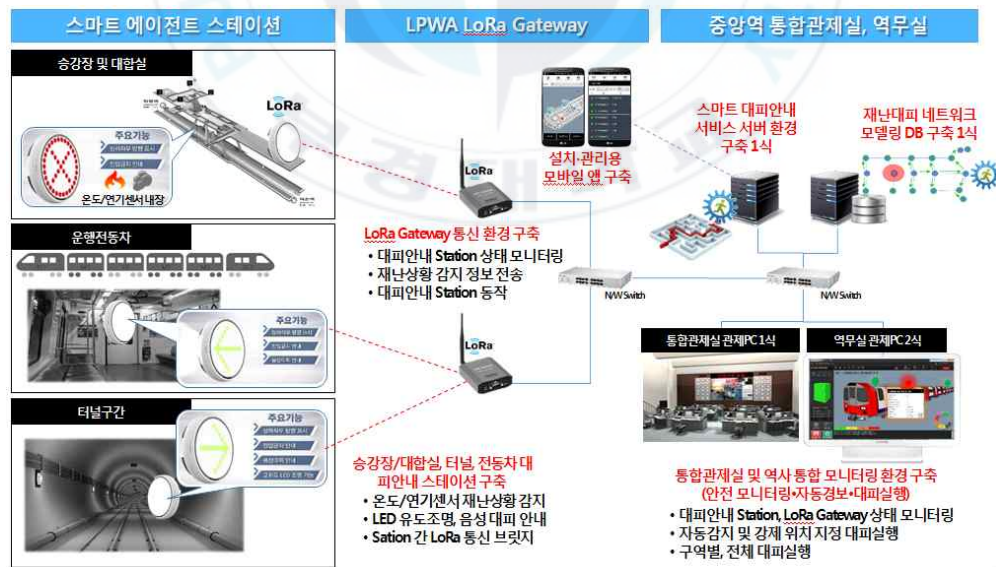


그림 3.1 시스템 구성도

3.2.1 스마트에이전트(안내스테이션)

먼저 스마트에이전트는 안내스테이션으로서 역사 승장강, 대합실, 전동차, 본선터널구간에 설치되어 열, 연기 등 센서를 통한 이벤트 감지 시 통신망을 통하여 중앙 서버로 이벤트 정보를 전송하며 안내스테이션 간은 LoRa 통신으로 연결되어 있다. 또한 서버로부터 비상대피 명령을 받았을 경우 상하좌우로 방향 표시가 되어 대피방향을 안내할 뿐 아니라 고휘도 LED 조명이 있어 대피방향으로의 조명역할도 수행하고 음성으로 대피안내까지 가능하다. 역사 등 설치 시 대피승객의 시인성 및 통신 적절성 등을 고려하여 배치 설치하였다.

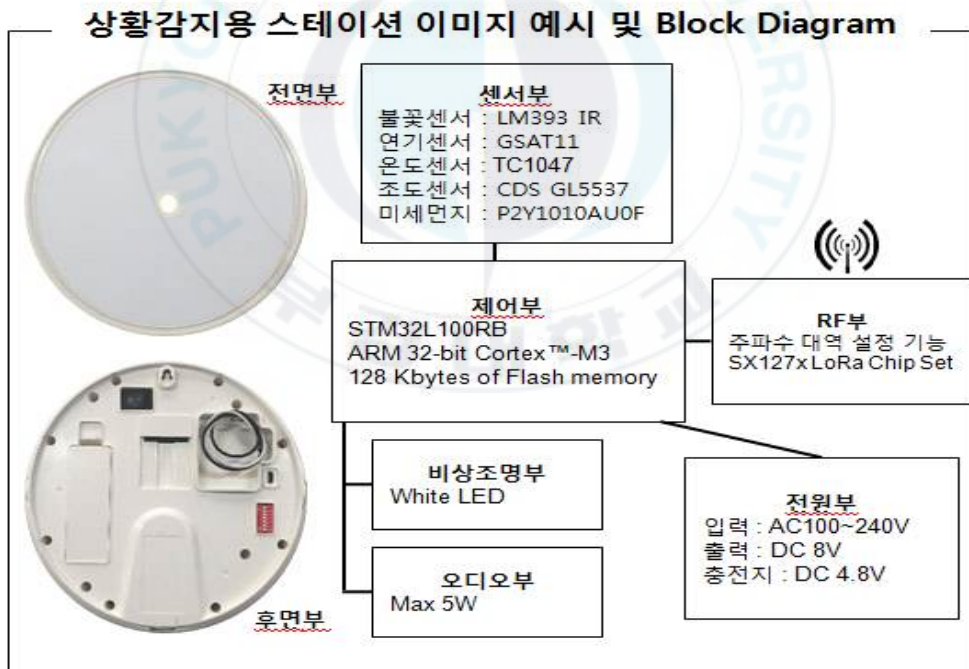


그림 3.2 상황감지용 스테이션 이미지 예시 및 블록다이어그램

3.2.2 LPWA LoRa Getway 무선통신 구간

무선통신 구간의 역할은 스마트에이전트인 안내스테이션과 중앙 서버와의 통신연결 역할이다. 스마트에이전트가 비상상황 감지 시 감지 정보를 전송하며 또한 서버로부터 대피명령을 스마트에이전트로 전송하여 대피안내 수행을 할 수 있게 한다.

넓은 서비스 범위(LPWAN)의 특징을 가진 세계 표준 무선 통신방식을 채택하여 별도의 망 사용료가 필요없는 저전력 고신뢰 독자 무선망을 구축하였으며 국내 최초 KC전파인증 취득 LoRa 게이트웨이 제품을 사용하여 기존 단방향 센서네트워크와 차별화되는 양방향 통신을 구현하였다.

구 분		Lora	3G	LTE	Wi-Fi
거 리		10s Kms	10s Kms	10s Kms	300m
전력소모(전송)		18mW	500~1,000mW	600~1,100mW	19~400mW
대기전력(3V)		0.001mW	3.5mW	5.5mW	1.1mW
운영시간 (AA건전지)	연 속	120시간	2~4시간	2~3시간	4~8시간
	대 기	10년	20일	12일	50시간
모듈가격		\$3	\$35~\$50	\$80~\$120	\$5~\$8

표 3.1 통신시스템 비교표

3.2.3 중앙 통제관제(중앙 서버)실

실시간 최적 대피유도 알고리즘 비교	SERA (Safe Evacuation Routing Algorithm)	ILOG CPLEX	Gurobi	오픈소스 (Edmonds-Karp)
계산 성능	< 1 초	6.65 초	9.11 초	> 1.5 hour
동일 최적해 입증 (계산 후 대피시간)	193 초	193 초	193 초	193 초
대피혼잡도 반영, 계산 3회 수행시 소요 시간 총합	194.5초	213초	220초	16,393초 이상

*. Tested at Seoul Gangnam. CGV multiplex 빌딩 - Node:98, Arc:252

표 3.2 상용최적화 계산 도구 및 오픈소스 알고리즘 성능비교표

중앙 서버에서는 상시 상태 모니터링을 수행하며, 스마트에이전트에서 비상상황이 센싱되어 전달된 이벤트정보에 대하여 안전대피 경로산출 알고리즘을 통하여 실시간 최적 대피경로를 산출하여 스마트에이전트로 대피명령(자동감지 및 강제위치 지정 대피실행)을 전송하는 역할을 수행한다.

3.3 본 연구의 도시철도 적용 기술

3.3.1 도시철도 적용 시스템의 기술적 요소

초기 화재발생 감지 및 화재확산 상황 감지용 IoT 센서 네트워크 기술은 화재감지에 필수적인 온도센서 및 연기센서를 탑재한 상황인지형 대피안내 시스템 전용 센서 디바이스를 적용하였고, 본 센서 디바이스는 기존 소방 형식승인 대상인 열감지기 및 연기감지기와 달리 반도체 센서 소자(TC1047 온도센서 및 GSAT11 연기센서)를 사용하였으며, 원격 센서 상태 정보 모니터링용 SX1276 칩셋 기반 LPWA LoRa 무선통신 모듈을 포함하고 있는 ICT 융합제품이다.

기존 소방 형식승인 제품 범주에 속하지 않는 제품인 관계로 ICT특별법 상 미래창조과학부 신속처리 및 임시허가 운영지침에 의거, KFI(한국소방산업기술원)를 통한 주요 기능 성능시험을 거쳐 신규 정보통신융합 등 기술·서비스 임시허가증을 2016년 3월30일자로 취득하였으며, LPWA LoRa 무선통신을 활용한 원격 센서 상태 정보 모니터링 기술 및 특정 조건 이상 센서 값 변동 시 능동적 감지정보 전송 기능을 수행할 수 있다

온도센서 성능의 경우 기존 공칭작동온도 60도 열감지기 종별 기준 2종에 해당하는 단순 감지 성능을 보유하고 있으나, IoT 센서기술 특성 상 실시간 온도변화 추세 정보에 대한 원격 모니터링 서버의 화재감지 규칙 적용 시, 상당수준의 감지 성능 확보도 가능한 센서이다.

IoT 센서 정보 수집용 LPWA LoRa 무선통신 네트워크 기술은 국내 사물인터넷 센서네트워크 전용 주파수 대역으로 허용된 917~923.5MHz 대역을 지원하는 미국 Semtech사의 SX1276 LoRa 칩셋 기반 네트워크 장비를 사용하여 CST-N001 LoRa 게이트웨이 장비는 2015년 11월 국내 최초로 KC 전파인증 및 전자파 인증을 획득한 장비를 적용하였다. (발급번호 KCTL15-KR0221호, KCTL15-KE7324호)

IoT 센서 디바이스 또한 Semtech사의 SX1276 LoRa 칩셋 모듈을 내장하고 있으며, IoT 스마트 에이전트 대피안내기기인 CST-S001 모델로 통합 Packaging되어 2015년 11월 국내 최초로 KC 전파인증 및 전자파 인증을 획득하였고 (발급번호 KCTL15-KR0220호, KCTL15-KE7323호) 2015년 3월 미래창조과학부 임시형식승인 과정을 통해 CST-S001 IoT 센서 디바이스와 CST-N001 LoRa 게이트웨이 장비 간 통달거리가 도심 기준 약 340미터에 달함을 증명한 장비이다.

IoT 센서 수집정보 기반 위험상황 시각화 모니터링 기술로는 수집된 IoT 센서 정보는 시각화 모니터링 기술과 결합됨으로써 실용성 있는 서비스로 구현될 수 있으며, 3차원 공간모델 상에 IoT 센서가 전송하는 화재 경보를 단계별로 시각화하여 표출하고, 안전관리자가 직관적으로 개별 IoT 센서 상태정보를 확인할 수 있는 모니터링 소프트웨어를 적용하였다. IoT 센서정보 시각화 모니터링 소프트웨어를 통해 화재발생 위치 파악을 보다 용이하게 하며, 단순 모니터링 기능에 그치지 않고 대피실행에 필요한 사용자 인터페이스를 효과적으로 구현하여 제공한다. (즉시대피 실행 기능, 자동 대피안내 실행 기능, 대피안내 현황 시각화 기능 등)

IoT 센서 수집정보 기반 안전대피경로 생성 알고리즘 기술은 IoT 응용 서비스의 핵심 가치 중 하나인 IoT 센서를 통해 수집된 정보를 이용하여 기존 대비 보다 효과적인 의사결정을 지원하는 것으로 IoT 센서 네트워크에서 수집되는 화재 발생 및 확산 위치 정보와 지하철 역사 내부의 대피

경로에 대한 수리 네트워크 모델 정보를 결합하여 실시간으로 안전한 대피 경로를 도출할 수 있는 수리 알고리즘이다.

이는 기술적으로 Time-Expanded Min-Cost Max-Flow Algorithm으로 표현할 수 있으며, 대피 시 인원 이동 상황 예측에 기반한 혼잡도 최소화가 반영된 수리 네트워크 모델 해석 프로그램으로서 실시간으로 변화하는 화재 상황에 대응하기 위해서는 알고리즘 연산 시간을 최소화하여야 하며, 알고리즘이 기존 고가 상용 해석 프로그램 대비 월등한 속도로 연산한다.

IoT 스마트 에이전트 대피안내 기기 동작명령 전송을 위한 LPWA LoRa 무선통신 기술로서 일방향적인 정보 수집용 IoT 센서 네트워크의 경우 비교적 긴 주기로 센서와 LoRa 게이트웨이 간 통신이 이루어지는 반면, 대피안내 서비스의 경우 화재확산-대피경로 재생성-변경된 안내정보 재전송과 같은 상황적 특성으로 인해 짧은 주기의 양방향 LoRa 통신이 요구될 수 있으며, 통신 소프트웨어 또한 이를 반영하였다.

일반적으로 LoRa 통신기술을 실시간성 통신이나 대용량 데이터 전송 용도로 사용하기는 쉽지 않으나, 1kbps 수준의 LoRa 통신속도와 20byte 수준의 단위 통신 패킷 사이즈로 적용된 기술은 이러한 LoRa의 단점을 극복하기 위하여 대피안내 서비스에 최적화된 LoRa 통신 소프트웨어와 패킷 구조로 비상 대피 상황에서의 통신 성능을 보장하기 위하여 LoRa 게이트웨이 1대와 통신 주파수 채널을 공유하는 IoT 센서 디바이스의 수를 최대 10대로 제한하였다.

또한, LoRa 중계기능(Bridge 기능)을 소프트웨어적으로 구현하여, LoRa 게이트웨이로부터 송출되는 동작명령 신호를 최대 7대의 Bridge 디바이스가 수신 후 재송출하여 통신 실패를 방지할 수 있으며,

보안에 취약하다는 무선통신망에 대한 우려를 극복하기 위해, LoRa 무선 통신 구간에 대한 AES 128bit 암호화 전송 기능을 지원하여 보다 신뢰

할 수 있는 IoT 무선네트워킹을 구현하였다.

화재 현장 대피안내 기능을 수행하는 IoT 스마트 에이전트 대피안내 기기 기술은 상황인지형 대피안내 서비스에 적용된 핵심적인 IoT 기술로서, 기존 비상구 유도등, 화재 감지기, 비상방송 설비의 기능을 통합한 신개념 IoT 스마트 에이전트 대피안내 기기를 적용하여 IoT 스마트 에이전트 대피안내기기가 화재 발생 초기 및 확산 시 자체 내장형 온도 센서 및 연기 센서를 통해 감지함으로써 LoRa 무선통신망으로 전송하는 기능은 물론, 대피요원들이 현장에 배치되기 이전에 가상의 대피요원 역할을 신속하게 수행할 수 있다.

대피개시 명령이 입력된 직후, 대피 현장에서 초기 주위환기 안내방송 송출과 함께 개별 디바이스 설치 위치에서 안전한 대피방향을 음성안내, LED 화살표 안내, 고휘도 조명 표시등으로 단순 명료하게 대피를 유도할 뿐 아니라, (대피안내 동작명령은 LoRa 게이트웨이로부터 수신한 보안 패킷을 decoding 후 parsing하여 적용)

화재로 인한 정전 시에도 내장 2,600mA 리튬 배터리로 자동 전환되어 3시간 이상 대피안내 동작을 지속적으로 수행할 수 있으며, LoRa 게이트웨이 통신 두절 시에도 스마트 에이전트 기기간 통신 모드로 전환되어 대피안내를 수행할 수 있다. (대피경로 생성 알고리즘 서버와 통신 두절 시 사전에 정의된 규칙 기반 정책에 따라 타 기기로부터 수신한 위험구역 정보를 반영한 안내 실행)

대피안내 음성 크기는 기기 간 배치 간격을 고려하여 10단계로 조절 가능하며, 1미터 거리에서 90dB을 충족한다.

또한, 총 90가지 이상의 음성안내 메시지를 내장하여 상황에 맞는 다양한 음성 안내가 가능하며, LED 화살표 안내의 경우 상, 하, 좌, 우, 양방향, 진입금지 표시를 상황에 따라 표출되도록 한다.

고휘도 조명 표시방향의 경우 LED 화살표 안내 방향과 Sync되어 동작

되며, IP33 수준의 방진방수 등급을 충족하여, 화재 시 스프링클러 작동 상황에서도 정상 동작이 가능하다.

IoT 스마트 에이전트 시스템 신뢰도 확보 적용 기술은 실제 대피상황이 아님에도 경보기능이나 대피안내 기능이 실행되어 영업상, 업무상 불필요한 혼란과 손실이 발생하는 것을 방지하기 위한 부작동 성능 기술을 적용하였으며, 이는“감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준” 제16조 제1항에 의거 공칭작동온도 60℃에 해당하는 작동/부작동 시험을 2016년 3월 9일 한국소방산업기술원(KFI)에서 진행되어 하드웨어적인 부작동 성능에 문제가 없음이 확인된 기술이다.

스마트에이전트 센서 고장, 내장 배터리 방전, 통신모듈 고장 등으로 인한 미 작동을 사전에 예방하기 위하여, 이러한 미 작동 원인 발생 즉시 모니터링 시스템을 통해 안전관리자가 즉시 확인하고, 스마트에이전트 교체 및 배터리 교환 등 필요한 조치를 취하도록 하였고, 화재 시 정전으로 인한 미작동의 경우, 상시 A/C전원 차단 시 내장된 충전식 배터리 D/C 전원 으로 전환되어 미작동을 방지할 수 있으며, 건물 내 통신망이 정상임에도 불구하고 일시적인 무선 주파수 간섭 등으로 인한 스테이션 동작명령 수신 장애 및 미작동을 방지하기 위해, LoRa 게이트웨이에서 스테이션으로의 복수 전송 및 브릿지 스테이션을 통한 재전송 기능이 구현되어 있다.

공칭작동온도 60℃ 도달 이전에도 비정상적인 온도 상승 속도 등 감지패턴이 적용된 단계별 경보레벨을 설정하여 안전관리자의 초기 상황인지를 지원할 수 있어, 실제 화재 시 기존 감지기가 미작동하는 구간에서도 시스템은 조기 작동이 가능하고,

대피상황에서 스테이션은 동작하지만, 잘못된 안내를 하여 오히려 대피자를 위험에 빠트리는 상황이 발생하지 않도록 시스템 오동작 방지 기술이 적용되어 있다.

대피경로 생성 알고리즘의 기반이 되는 Shortest Path Algorithm은 주어진

경로 네트워크상에서 반드시 유효한 경로를 생성하는 성능이 입증된 기술로서, 최종 출구까지의 유효 경로가 존재한다는 전제 하에 알고리즘 자체의 오동작 가능성은 없으며,

대피경로 모델링 단계의 오류로 인해 대피방향 안내를 하지 않거나, 출구로 안내를 하지 못하는 경우를 방지하기 위해, 노드-아크로 구성되는 대피 경로 모델 무결성 검증 실행 기술이 적용되어 있다.(노드 고립 여부, 아크 연결 여부, 최종 출구 지정 여부 등)

3.3.2 본 연구의 도시철도 적용 주안점

가) 지하철 역사 화재 발생 시 승강장 및 대합실 승객 안전대피유도

- IoT 센서 네트워크를 활용한 승강장 및 대합실 초기 화재 감지 및 확산 감지로서 LoRa 통신형 IoT 온도 및 연기센서 디바이스를 주요 승객 이동 경로, 비상구, 비상계단실 벽면 부착형으로 설치하여 기존 천장형 화재감지기를 보완하고, 기존 감지기가 꺼져있거나 고장 시에도 IoT 센서 디바이스는 평상시 원격 상태 모니터링 기능으로 인해 정상 작동을 보장하도록 하였다. 또한, 센서 감지 정보도 RTOS 기반에서 운영되는 디바이스 펌웨어에 의해 분석되며, 특정 수치 이상 감지 시, 지정된 LoRa 게이트웨이로 해당 정보를 송신토록 하였다.

- LPWA LoRa 무선망을 통한 역무실 관제모니터링 서버로 IoT 센서 감지 정보 전송을 위하여 LoRa 게이트웨이는 IoT 센서 디바이스가 송신한 센서 정보와 해당 센서 디바이스 위치정보를 TCP 유선 네트워크를 통해 관제모니터링 서버로 전송하게 하였으며, 지하철 역사 전 구간을 통달할 수 있는 LPWA LoRa 네트워크를 구축하여, 별도의 통신 비용이 소요되지 않는 효율적인 독자 무선망 인프라를 확보하였다.

LoRa 통신은 10mW의 저전력으로 운영되므로 에너지 비용 또한 절감 가능할 뿐 아니라 917~923.5MHz 대역의 주파수를 사용함으로써 LoRa 고유의 변조기술과 더불어 우수한 통달 성능을 제공한다. 통달 거리 기준으로만 적용할 때, 지하철 1개 역사 전 구간 통달 성능을 확보하기 위한 LoRa Gateway 수는 2~3대로 충분하나 안정적 성능을 확보하기 위하여 5대를 적용하였다.

채널	주파수	코디네이터 ID	채널	주파수	코디네이터 ID	채널	주파수
0	917.3MHz	31	0	917.3MHz	19	8	921.1MHz
1	917.9MHz	32	2	918.5MHz	20	14	922.3MHz
2	918.5MHz	33	10	921.5MHz	21	12	921.9MHz
3	919.1MHz	34	8	921.1MHz	22	5	920.3MHz
4	919.7MHz	35	14	922.3MHz	23	2	918.5MHz
5	920.3MHz	36	6	920.7MHz	24	16	922.7MHz
6	920.7MHz	37	16	922.7MHz	25	18	923.1MHz
7	920.9MHz	38	18	923.1MHz	26	9	921.3MHz
8	921.1MHz	39	4	919.7MHz	27	6	920.7MHz
9	921.3MHz	40	12	921.9MHz	28	10	921.5MHz
10	921.5MHz	41	9	921.3MHz			
11	921.7MHz	42	3	919.1MHz			
12	921.9MHz						
13	922.1MHz						
14	922.3MHz						
15	922.5MHz						
16	922.7MHz						
17	922.9MHz						
18	923.1MHz						
19	923.3MHz						

LoRa 채널

표 3.3 도시철도에 적용된 LoRa 통신 주파수 대역

- **역무실 관제모니터링 서버에서 역무실 담당자에게 화재 감지 정보 알림 시스템 적용**은 역무실 안전담당자가 역사 전체 영역이 3D 공간 모델로 표출되는 모니터링 시스템을 통해, 평상 시 LoRa 네트워크 통신 상태, IoT 센서 디바이스 감지 상태 및 배터리 상태 등을 개별 디바이스 단위로 확인할 수 있으며, 특정 디바이스에 문제 발생 시 자동 알림 기능을 통해 해당 내용을 쉽게 파악할 수 있어 문제가 생긴 디바이스에 대해서는 배터리 교체, 디바이스 교체 등 필요한 유지보수 업무 list를 생성할 수 있으며, 복수 층으로 구성된 경우 승강장 층, 대합실 층을 선택하여 해당 층만을 모니터링 할 수 있다. 센서 값이 상승하는 경우 사전에 정의된 정보 레벨에 따라 3단계(정상, 주의, 상황발생)로 제공 되는 정보 메시지를 Push 방식으로 제공받게 된다.
- **역무실 담당자가 상황정보 파악 후 대피실행 명령 입력**에 대해서는 상황발생 단계인 3단계 센서 값 수신 시, 관제모니터링 서버는 경고음과 함께 화재발생 알림 창을 자동으로 표출하며, 정해진 시간 내 피드백이 없을 경우 자동대피 실행을 위한 카운트다운 내용과 함께, 담당자의 추가적인 현장 확인이 필요할 경우를 위한 자동대피 시간 연장 및 즉시 대피 실행 옵션을 표출토록 한다. 기존 화재감지기로부터 화재발생 구역을 먼저 확인하는 경우, 관제모니터링 서버 사용자 화면상에서 해당 되는 위험구역을 수동으로 지정하여 즉시대피를 실행할 수 있으며, 모든 LoRa 통신 log, 사용자 명령 입력 log, 시스템 기능 실행 log 등이 저장 되어, 실제 화재 발생 시 안전관리자가 실수 없이 필요한 절차를 수행 했는지 여부를 확인 가능토록 하였다.
- **역사 내부 대피경로 네트워크 모델과 위험구역 정보를 반영한 안전 대피로 실시간 산출**은 안전관리자가 즉시대피 명령을 입력하면 알고리즘 서버가 가동되어, 사전에 모델링되어 있는 역사 전체 대피경로 네트워크 모델을 loading하고, IoT 센서 디바이스로부터 전송된 화재

발생 구역에 해당하는 Node 및 Arc를 대피경로 네트워크 모델에서 제외한 후 남은 대피경로 네트워크 모델을 대상으로 각 Node에서부터 최종 지상 탈출구까지의 대피경로를 도출한다. 알고리즘 실행 과정에서 시간대별 Node별 인원 수 정보를 예측하여, 특정 경로로 대피 인원이 집중되어 혼잡에 따른 2차 피해가 발생하는 경우를 최소화할 수 있는 대피경로를 산출하며, 화재 확산으로 인해 위험구역 정보가 update되는 경우, 알고리즘 서버가 자동적으로 실행되어 새로운 안전 대피경로를 재 생성한다. 알고리즘 수행 시간은 log 정보로 저장되어 사후 알고리즘 성능 고도화를 위해 활용되도록 적용하였다.

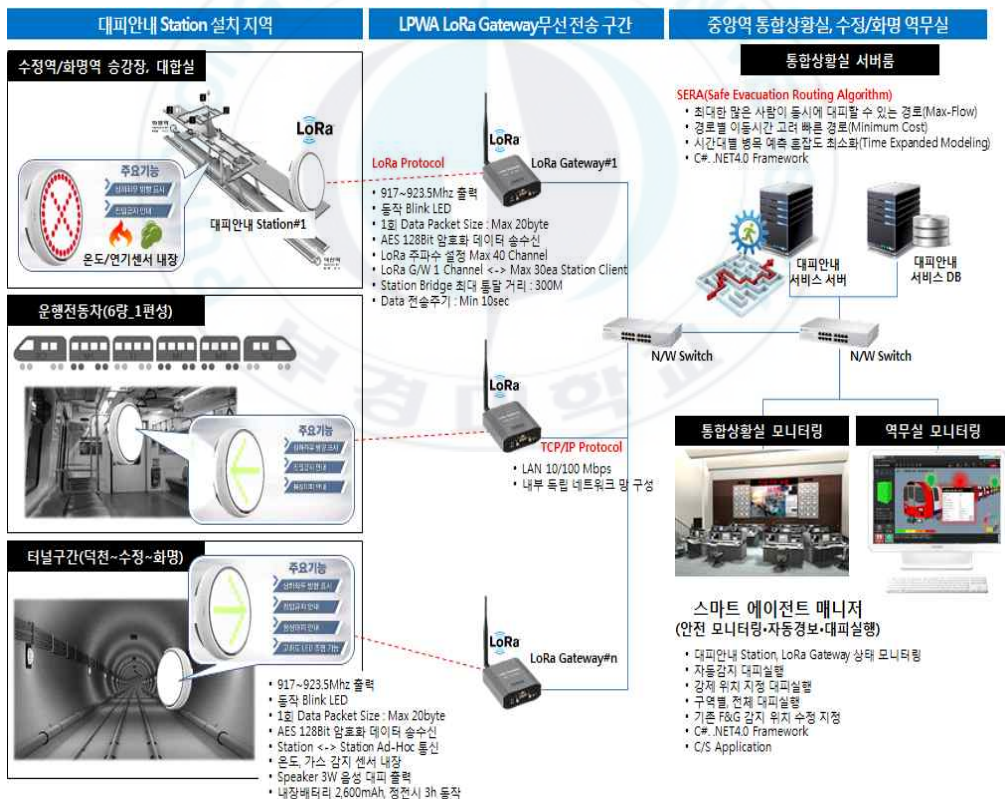


그림 3.3 적용 시스템 및 네트워크 구성도

- **안전 대피로 산출 결과에 따라 현장 대피안내 기기별 동작명령 생성 및 LoRa G/W로 전송** 기능은 대피경로 생성 알고리즘에서 도출된 결과 값을 IoT 스마트 에이전트 대피안내 기기별 동작명령 형식으로 변환하며, 변환된 대피안내 기기별 동작명령들은 LoRa 게이트웨이를 통해 게이트웨이 1대당 연결된 대피안내 기기인 스마트에이전트로 무선 구간을 통해 전송된다. 스마트에이전트 중 Bridge 기능이 설정된 복수개의 스마트에이전트는 LoRa 게이트웨이로부터 수신된 동작명령 패킷들을 다른 대피 안내기기들인 스마트에이전트에 재전송하도록 적용하였다.
- **현장 IoT 스마트 에이전트 대피안내 기기는 수신한 동작명령에 따라 대피안내 개시를** 하게 된다. IoT 스마트에이전트 대피안내 기기들은 최초 LoRa 게이트웨이로부터 대피실행 패킷 수신 후 “긴급상황! 화재가 발생했습니다! 주변의 대피안내기기에 따라 신속히 대피하여 주시기 바랍니다!” 와 같은 음성안내와 함께 전면부 LED 점등 및 고휘도 조명이 점등되고, 개별 대피안내 기기의 동작명령이 수신되면 초기 안내 동작을 멈추고, 수신된 동작명령에 해당하는 대피안내가 실행된다. 비상구 및 출입구에 부착된 대피안내 기기의 경우 하방 녹색 화살표 점등과 음성을 통한 진입 가능 안내를 유도하거나, 붉은색 X 표시 점등과 음성을 통해 진입금지 안내를 수행토록 하였다. 일반 통로 벽면에 부착된 대피안내 기기의 경우 좌측 또는 우측 녹색 화살표 점등과 음성을 통해 대피방향을 안내하고, 대피안내를 수행하는 도중에도 내장 센서를 통해 해당 위치로의 화재 확산 여부를 지속적으로 감지하여 LoRa 게이트웨이로 전송하게 된다.
- **대피안내 도중 화재확산에 따른 위험구역 정보 변경 시 안전 대피로 재 산출**하기 위하여 LoRa 게이트웨이를 통해 새로운 화재 확산 구역 정보 수신 시, 알고리즘 서버가 재실행되어진다.

- **고립구역 발생 시 해당 위치 정보 제공을 통한 구조 활동을 지원**토록 하였다. 이는 화재 확산에 따라 알고리즘 서버가 거듭 재실행되는 과정에서, 최종 탈출구까지의 안전한 대피경로가 존재하지 않는 고립구역이 발생될 시 알고리즘 서버는 고립구역 정보를 별도 DB로 생성하여 관제모니터링 화면에 표출하고 안전관리자는 고립구역 정보를 확인하고, 안전요원 투입을 지시하거나, 투입된 구조대에게 전달하여 신속한 구조가 될 수 있도록 적용 하였다.

- **화재 확산경로 사후 분석을 통한 문제점 분석 및 개선 조치 수행**을 지원토록 하여, 화재 감지 및 대피실행 전 단계에서 이루어진 LoRa 통신 내역, 관리자 명령 입력 내역, 알고리즘 서버 실행 내역, 동작명령 전송 시점, 화재 확산 정보 감지 시점 및 내역 등 모든 정보가 log 정보로 저장되도록 적용하고, 화재 진압 후 복구단계에서 관제모니터링 서버에 저장된 log 정보를 분석하여, 초동 대응의 적절성, 대피안내의 적시성, 확산 감지의 유효성, 대피안내의 적용성 등에 대한 종합적인 분석을 수행할 수 있도록 하여 스마트 에이전트 대피안내 서비스의 성능 고도화 목적 이외에도 기존 공조설비의 문제점, 기존 대피훈련의 문제점, 기존 대피안내 설비의 문제점 개선 등에도 활용할 수 있도록 적용하였다.

나) 전동차 내부 화재 발생 시 터널 구간 및 역사 연계 탑승객 안전대피유도

- **IoT 센서 네트워크를 활용한 전동차 내부 및 터널 구간 초기 화재 감지 및 확산 감지**를 위하여 LoRa 통신형 IoT 온도 및 연기센서 디바이스를 전동차 단위 차량 내부, 터널 내부에 벽면 부착형으로 설치하여 기존 화재감지기를 보완하는 감지 서비스를 구현하였고, 기존 감지기가 꺼져있거나 고장시에도 IoT 센서 디바이스는 인근 역사 승강장에 설치된 LoRa 게이트웨이와 통신하여 평상시 원격 상태 모니터링 기능으로 인해 정상 작동이 보장될 수 있도록 적용하였다. 또한, 특정

수치 이상 감지 시, 전동차 이동 상황에서 최초 연결된 LoRa 게이트웨이로 감지정보 전송토록 하며, 터널 내부 화재의 경우 지정된 LoRa 게이트웨이로 해당 정보를 송신하여 전동차 진입을 방지하는 후속 조치도 지원한다.

- **LPWA LoRa 무선망을 통한 인근 역무실 관제모니터링 서버로 IoT 센서 감지 정보 전송**기술 적용하여 역사로 진입 중이 전동차 내부의 스마트에이전트로부터 화재감지 정보를 수신한 승강장 LoRa 게이트웨이는 TCP 유선 네트워크를 통해 관제모니터링 서버로 전송하고, 지하철 역사 승강장에 설치된 LoRa 게이트웨이는 해당 승강장으로 진입 중인 인근 전동차 내부 스마트에이전트와 LoRa 통신을 수행하며, 터널 내부 스마트에이전트 또한 인근 승강장 LoRa 게이트웨이와 통신한다.
- **역무실 관제모니터링 서버에서 역무실 담당자에게 전동차 및 터널 화재 감지 경보 알림**을 적용하여 역무실 안전담당자는 진입중인 전동차 내부의 스마트에이전트 상태와 인근 터널 구간 내부의 스마트에이전트 상태가 표출되는 모니터링 시스템 조회할 수 있으며, 전동차 내부 및 터널 내부 센서값이 상승하는 경우도 사전에 정의된 경보 레벨에 따라 3단계(정상, 주의, 상황발생)로 제공되는 경보 메시지를 Push 방식으로 표출한다.
- **역무실 담당자가 상황정보 파악 후 전동차 탑승객 대피실행 명령 입력**을 할 수 있다. 상황발생 단계인 3단계 센서 값 수신 시, 관제모니터링 서버는 경고음과 함께 화재발생 알림 창을 자동으로 표출토록 하였으며, 정해진 시간 내 피드백이 없을 경우 자동 대피 실행을 위한 카운트다운 내용과 함께, 담당자의 추가적인 기관사 통신 및 터널 상태 확인이 필요할 경우를 위한 자동 대피 시간 연장 및 즉시대피 실행 옵션을 표출토록 하였다.

- 전동차 단위 차량 간 대피경로와 터널, 역사 대피경로를 연계하여 모델 기반 실시간 대피로 산출을 가능토록 적용하여 안전관리자가 즉시 대피 명령을 입력하면 알고리즘 서버가 가동되어, 사전에 모델링되어 있는 복합 대피경로 네트워크 모델을 loading하고, IoT 센서 디바이스로부터 전송된 화재발생 위치에 해당하는 Node 및 Arc를 대피경로 네트워크 모델에서 제외한 후 남은 복합 대피경로 네트워크 모델을 대상으로 각 Node에서부터 최종 지상 탈출구까지의 전동차-터널-역사 연계 대피경로를 도출토록 하였다.
- 안전 대피로 산출 결과에 따라 차량, 터널, 역사 대피안내 기기별 동작명령 전송이 될 수 있도록 적용하여 대피경로 생성 알고리즘에서도 출된 복합 대피경로 생성 결과 값을 전동차, 터널, 역사 내부 스마트에이전트 대피안내 기기별 동작명령 형식으로 변환하고, 변환된 대피안내 기기별 동작명령들은 승강장 LoRa 게이트웨이를 통해 인근 전동차 및 터널 내부 스마트에이전트에게 전송하며, 일부 구간은 Bridge 기기를 통해 재전송 된다.
- 전동차, 터널, 역사 내 IoT 스마트 에이전트 대피안내 기기는 수신 명령에 따라 안내 개시를 할 수 있다. 전동차 내부 스마트에이전트의 경우 출구 개폐방법 안내 및 전동차 내부에서의 대피요령 안내, 전동차 탈출방법 안내를 음성, 화살표, 조명으로 수행하며, 전동차에서 탈출한 고객들이 터널 구간을 이동해야 하는 경우, 터널 벽면 스마트에이전트가 이동방향을 좌우 화살표 및 음성안내로 유도하고, 전동차에서 탈출한 고객들이 역사 승강장으로 내릴 경우, 승강장에서부터 지상 탈출구까지 역사 내부 스마트에이전트들이 대피 경로를 유도할 수 있다.
- 대피안내 도중 화재확산에 따른 위험구역 정보 변경 시 안전 대피로 재 산출이 되어 LoRa 게이트웨이를 통해 새로운 화재 확산 구역 정보 수신 시, 알고리즘 서버 재실행 된다.[7] - [11]

Ⅳ. 시스템의 도시철도 적용 시험

4.1 도시철도 적용 시험대상 및 내용

		서버		게이트웨이	안내스테이션
		프로그램 서버	D/B 서버		
중앙관제		1대	1대		
화명역				5대	28대
수정역					
본선터널	화명역	—	—	—	13대
	수정역	—	—	—	12대
호포기지		—	—		
전동차		—	—	—	편성별 12개

구분	내역	세부 내역	수량
H/W	대피안내 서비스 서버	Intel Xeon Processor E5-2623 v3 4C 3.0GHz 10MB Cache 1866MHz 105W 1TB 7.2K 12Gbps NL SAS 2.5 G3HS HDD 16GB TruDDR4 Memory (2Rx4, 1.2V) PC4-17000 CL15 2133MHz LP RDIMM. Windows 2012 Server OS 포함	1
	대피안내 DB 서버	Intel Xeon Processor E5-2640 v3 8C 2.6GHz 20MB Cache 1866MHz 90W 2TB 7.2K 12Gbps NL SAS 2.5 G3HS HDD 16GB TruDDR4 Memory (2Rx4, 1.2V) PC4-17000 CL15 2133MHz LP RDIMM, Windows 2012 Server OS, MS-SQL2014 포함	1
	서버 표준랙	Universal 서버 표준랙 42U	1
	통합 모니터링 운영 PC & Monitor	i7 Intel, SSD 256GB, RAM 4GB, 24 “ LCD Monitor	1
N/W	L2 Switch	CISCO SG 95-24, 24포트	3

표 4.1 도시철도 적용을 위한 관련장비 설치 구성표

도시철도 적용을 위해 표 4.1에서와 같이 부산도시철도 내 역사(2호선 화명역, 수정역) 2곳 및 본선터널(화명역, 수정역 기점 상하선), 호포차량기지, 전동차 3개편성에 관련 장비(게이트웨이,스마트에이전트)등을 설치하고 중앙관제에 서버를 두어 사물인터넷 기반 스마트 안전 에이전트를 활용한 재난대피 시스템의 도시철도 적용 시험을 하였다.

가) 역사(화명역, 수정역)

비상시 고객들의 시인성 등을 고려하여 그림 4.1과 4.2와 같이 화명역 대합실, 승강장 각 14곳 및 그림 4.3과 그림 4.4와 같이 수정역 대합실 11곳, 승강장 14곳에 스마트 안전 에이전트인 안내스테이션을 설치하고 적용 시험을 하였다.

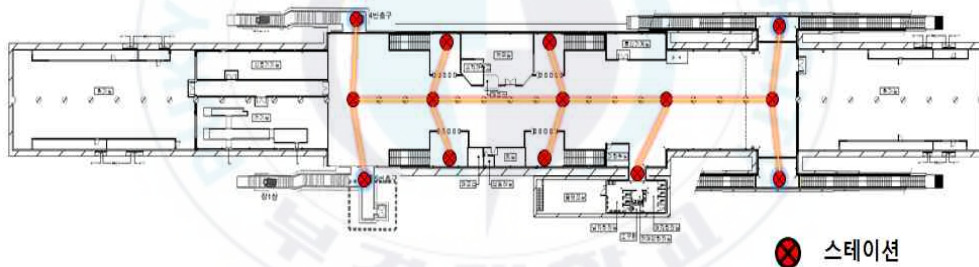


그림 4.1 화명역 대합실 스마트에이전트(안내스테이션) 설치도

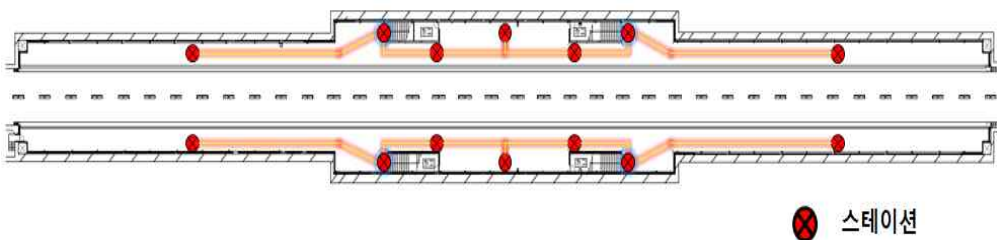


그림 4.2 화명역 승강장 스마트에이전트(안내스테이션) 설치도

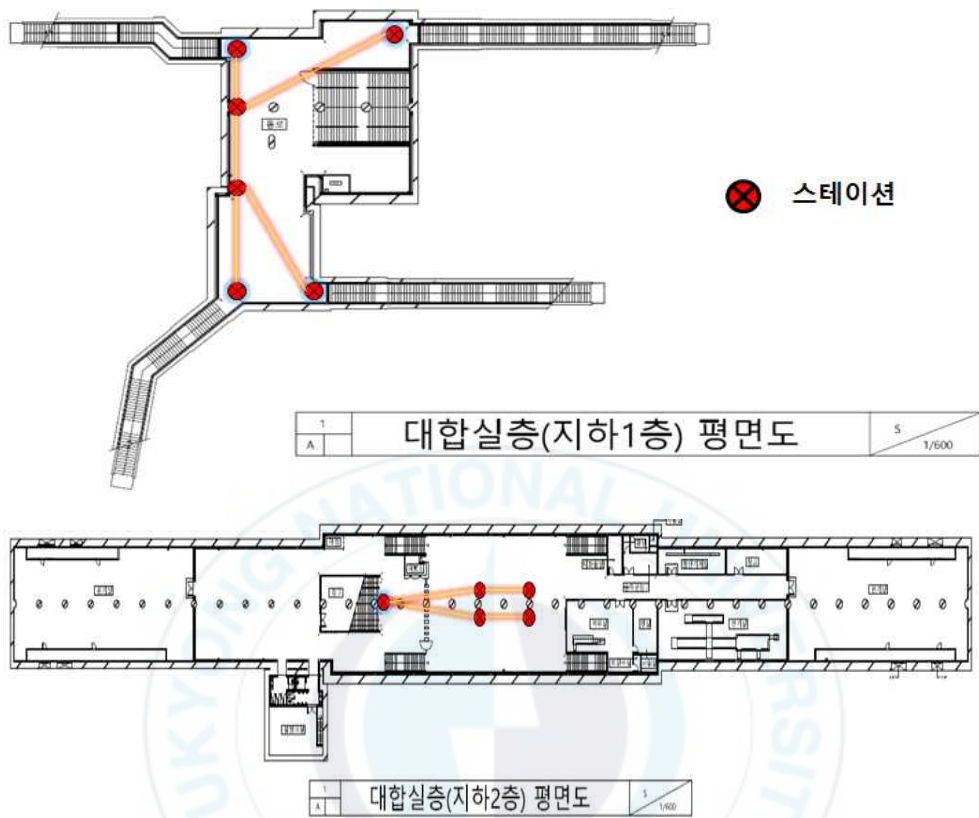


그림 4.3 수정역 대합실 스마트에이전트(안내스테이션) 설치도

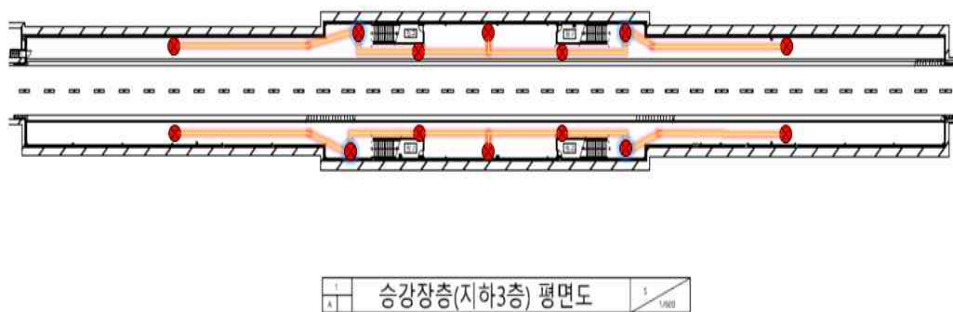


그림 4.4 수정역 승강장 스마트에이전트(안내스테이션) 설치도

나) 전동차

그림 4.5와 같이 부산도시철도 2호선 전동차 3개 편성(9, 42, 50편성)에 스마트 에이전트를 각 편성 당 12개(6호차 기준으로 1개 호차에 2개씩)를 적용하여 시험하였다.



그림 4.5 전동차 스마트에이전트(안내스테이션) 설치도

다) 터널구간(화명역, 수정역 기점 상하선)



그림 4.6 터널구간 스마트에이전트(안내스테이션) 설치도

본선 터널구간은 그림 4.6과 같이 화명역 기점 상하선 터널구간에 13곳
및 수정역 기점 상하선 터널구간에 12곳을 설치하여 적용 시험하였다.



그림 4.7 덕천 ~ 수정 터널구간 LoRa 통달 시험모습

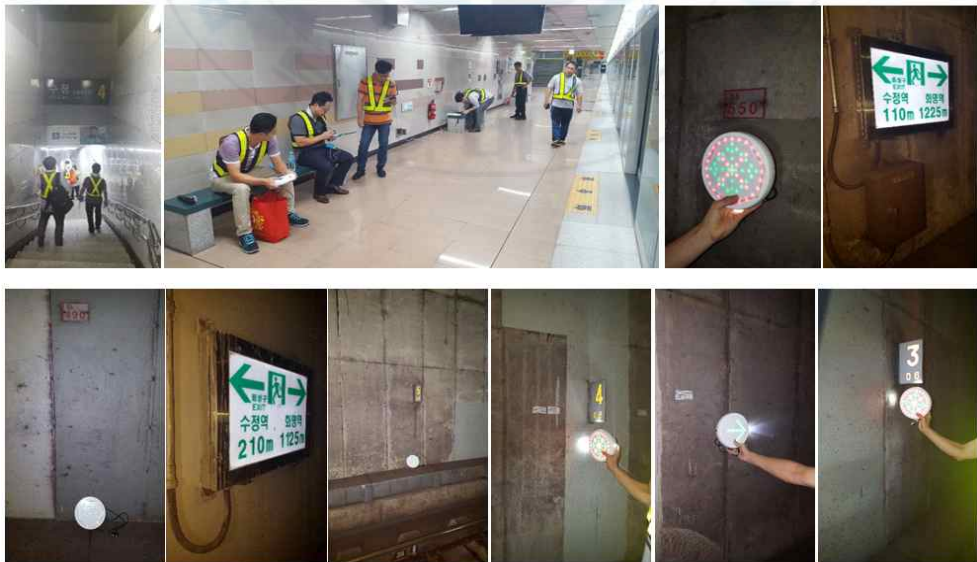


그림 4.8 수정 ~ 화명 터널구간 LoRa 통달 시험모습



그림 4.9 본선 터널 내 스마트에이전트 적용 방안

라) 도시철도 적용을 위한 사전 전동차 LoRa 네트워크 시험

그림 4.10에서와 같이 부산도시철도 2호선 호포역에서 증산역까지 전동차에 탑승하여 신호를 발신하였을 때 특정위치에서 수신(917Mhz 주파수 적용)이 되는지 여부를 사전테스트 한 결과 전동차 속도와는 무관하였고, 직선거리는 약 1km 이내에서 통신상태가 양호 하였으며, 곡선구간에서는 잠시 통신에러가 발생하였다. 통신에러 발생 시에는 복구까지 약 20~40초 정도 소요되었다.

- ✓ 테스트 일시: 2016. 3. 22(화) 16:00~17:20
- ✓ 테스트 장소: 부산지하철 2호선 호포역 ~ 증산역
- ✓ 테스트 방법: 전동차에 탑승하여 신호를 발신하고 특정 위치()에서 수신(917Mhz 주파수 적용)

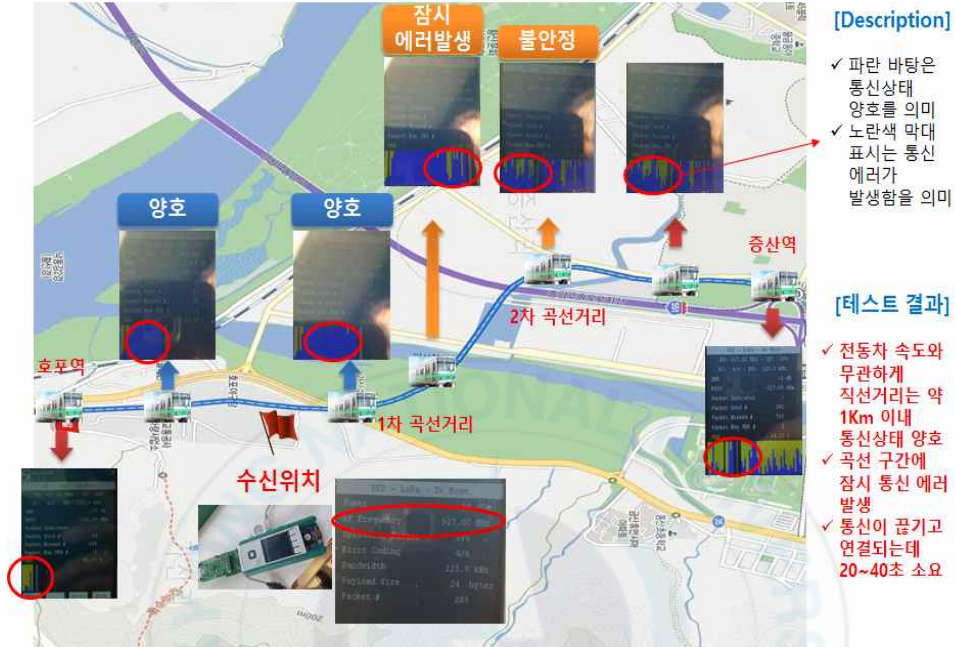


그림 4.10 본선구간에서 전동차 LoRa 네트워크 테스트 수행결과

4.2 도시철도 적용 시험 결과

4.2.1 역사(대합실/승강장) 적용 시험 결과

가) 로그인 시험

역사 역무실에 설치된 프로그램에서 사용자는 로그인 메뉴를 클릭하고 아이디 및 비밀번호를 입력 시 프로그램 수행 여부를 표 4.2와 그림 4.11과 같이 확인하였다.

번호	세부 수행절차	예상결과	결과
1	사용자는 로그인 메뉴를 클릭한다.	사용자가 시스템에 로그인할 수 있도록 로그인 화면을 보여준다.	정상
2	사용자 아이디 항목에 아이디를 입력한다.	사용자 아이디를 입력할 수 있게 하고, 입력된 내용을 화면에 보여준다.	정상
3	사용자 비밀번호 항목에 비밀번호를 입력한다.	사용자 비밀번호를 입력할 수 있게 하고, 입력된 비밀번호를 사용자가 인지할 수 없게 표시한다.	정상
4	사용자는 로그인 버튼을 클릭한다.	시스템은 오류 메시지를 출력하고, 다시 로그인 화면을 뿌려 준다.	정상
5	사용자 비밀번호를 맞는 번호로 재입력하여 로그인 버튼을 클릭한다.	시스템은 우측상단의 로그인메뉴를 로그아웃으로 보여주고, 해당 사용자에게 부여된 메뉴 화면을 보여준다.	정상

표 4.2 역사 프로그램 로그인 시험표

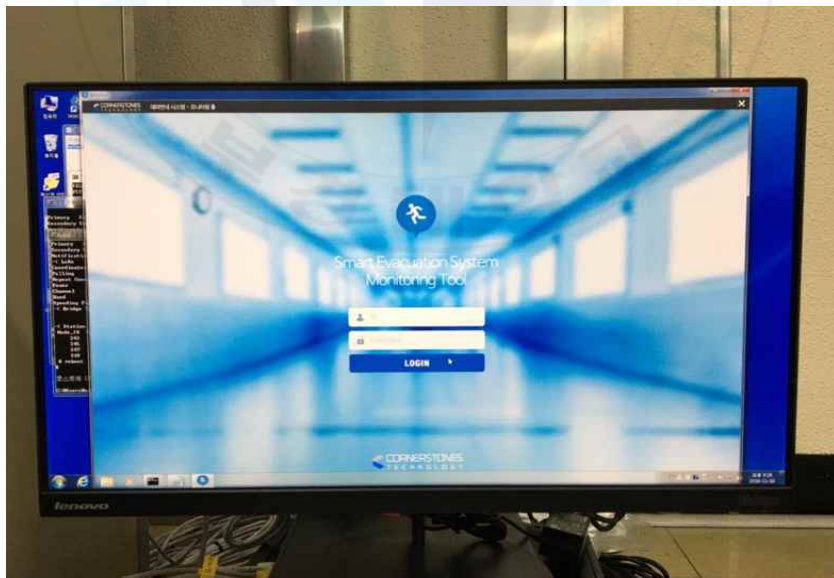


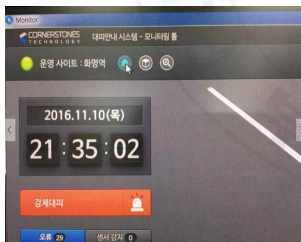
그림 4.11 역무실 프로그램 사용자 로그인 시험 관련 사진

나) 역사 역무실 프로그램 사용자 모니터링 시험

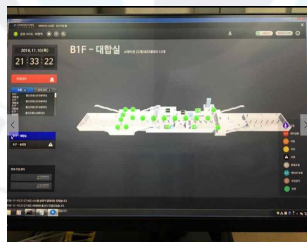
사용자가 역무실 프로그램에 접속하여 로그인 후 해당 역사에 대한 모니터링을 조회하여 표 4.3와 그림 4.12과 같이 시험 확인하였다.

번호	세부 수행절차	예상결과	결과
1	사용자는 로그인 후 정보를 조회한다.	사용자가 시스템에 로그인할 수 있도록 로그인 화면을 보여주고, 정보를 조회한다.	정상
2	해당 역사에 대한 모니터링을 조회한다.	해당 역사에 대한 모니터링 화면을 보여주고 조회한다.	정상
3	해당 역사의 모니터링 층 리스트를 조회한다.	해당 역사에 대한 모니터링 층 리스트를 조회한다.	정상
4	해당 역사의 모니터링 층을 이동한다.	해당 역사에 대한 모니터링 층을 이동한다.	정상

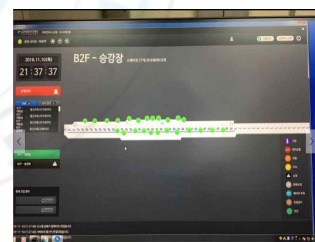
표 4.3 역사 프로그램 모니터링 시험표



모니터링



대합실 모니터링



승강장 모니터링

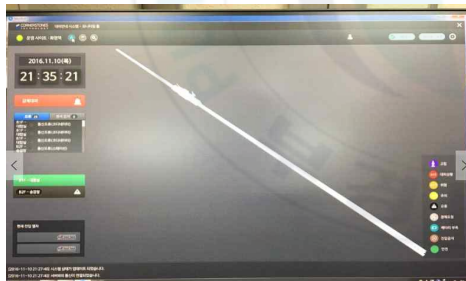
그림 4.12 역무실 프로그램 모니터링 시험 관련 사진

다) 역사 역무실 프로그램 네비게이션 시험

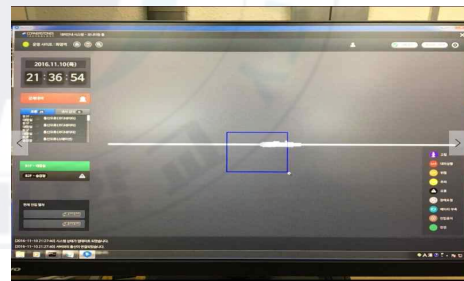
사용자가 역무실 프로그램에 접속하여 홈뷰, 탐뷰, 부분확대, 마우스 등 조절 시험을 통해 표 4.4 및 그림 4.13과 같이 확인 하였다.

번호	세부 수행절차	예상결과	결과
1	홈뷰 버튼을 선택하여 홈뷰를 조회한다.	홈뷰(3D 모델링 프로그램 초기설정값)를 조회할 수 있다.	정상
2	탐뷰 버튼을 선택하여 탐뷰를 조회한다.	탐뷰(3D 모델링 탐뷰)를 조회할 수 있다.	정상
3	마우스 휠을 조절하여 화면 확대 및 축소를 해 본다.	휠 조절에 따른 3D 모델링 화면을 확대/축소 할 수 있다.	정상
4	부분확대 버튼을 선택하여 확대 범위를 드래그한다.	드래그한 부분에 대해서만 확대/축소 할 수 있다.	정상
5	오른쪽 마우스를 선택하여 마우스를 누른채로 화면을 회전해 본다.	모니터링하고자 하는 화면을 회전할 수 있다.	정상

표 4.4 역사 프로그램 네비게이션 시험표



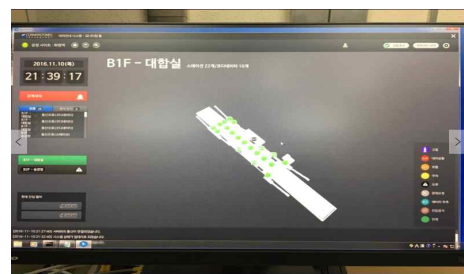
홈뷰



탐뷰



확대

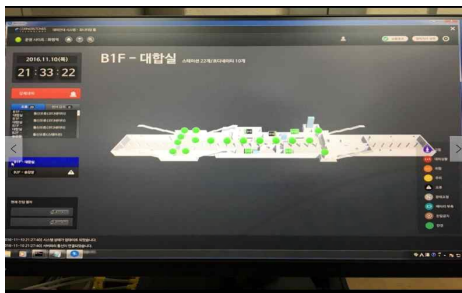


회전

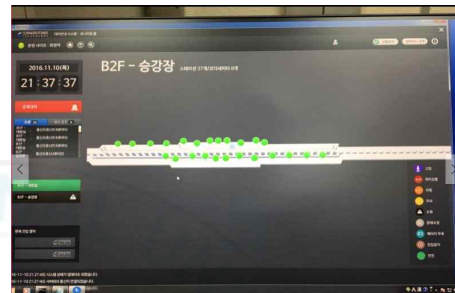
그림 4.13 역무실 프로그램 네비게이션 시험 관련 사진

라) 역사 역무실 프로그램 자동/수동 모니터링 시험

일정기간 동안 모니터링을 이용하지 않았을 경우 자동모니터링을 시행하고 재난 발생 시 해당 층 상황을 표시하는지 여부와 스마트에이전트(안내스테이션)의 상황 표시를 확인하였고, 수동 전환 후 스마트에이전트의 상세 정보와 상태요약을 표 4.5 및 그림 4.14과 같이 확인하였다.



대합실 스테이션 모니터링 화면



승강장 스테이션 모니터링 화면

그림 4.14 역무실 프로그램 자동/수동 모니터링 시험 관련 사진

번 호	세부 수행절차	예상결과	결 과
1	모니터링 일정기간 미 이용 시 자동 모니터링을 실행한다.	일정기간 프로그램 미이용 시 해당역 자동 모니터링(대기모드)이 실행된다.	정 상
2	재난 발생 시 해당 층 상황을 표시한다.	(능동) 위험상황에 따른 리스트 색상변경 화면(상황별 범례표시)이 보여진다.	정 상
3	재난 발생 시 해당 스테이션 상황을 표시한다.	(능동) 스테이션 상태 값에 따른 능동적 모니터링(상황별 범례표시)이 보여진다.	정 상
4	스테이션을 클릭 후 스테이션 상세정보를 조회한다.	ID/배터리잔량/통신상태 등을 조회할 수 있다.	정 상
5	좌측 모니터링 화면에서 스테이션 상태요약을 조회한다.	오류/센서감지 내역이 리스트 업 된다.	정 상

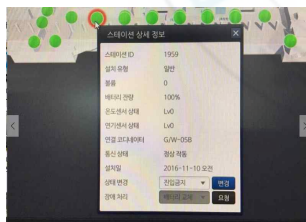
표 4.5 역사 프로그램 자동/수동 모니터링 시험표

마) 수동 제어 시험

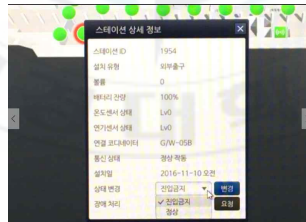
스마트에이전트(안내스테이션) 진입금지/정상, 장애처리 내역에 대한 반영 여부 등 상태변경에 대한 수동 제어를 표 4.6 및 그림 4.15과 같이 확인을 하였다.

번호	세부 수행절차	예상결과	결과
1	스테이션 클릭 -상태변경>진입금지>변경 -상태변경>정상>변경	모니터링 화면 내에 진입금지/정상으로 변경처리 표기를 확인할 수 있다.	정상
2	스테이션 클릭 -장애처리>배터리교체>요청 -장애처리>완전교체>요청	장애처리 내역에 요청내역 반영여부를 확인할 수 있다.	정상
3	코디네이터 클릭 -교체요청>요청	장애처리 내역에 요청내역 반영여부를 확인할 수 있다.	정상

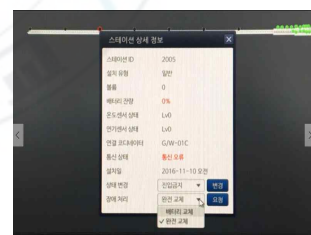
표 4.6 수동제어 시험표



스테이션 상태정보



스테이션 진입금지



배터리 교체

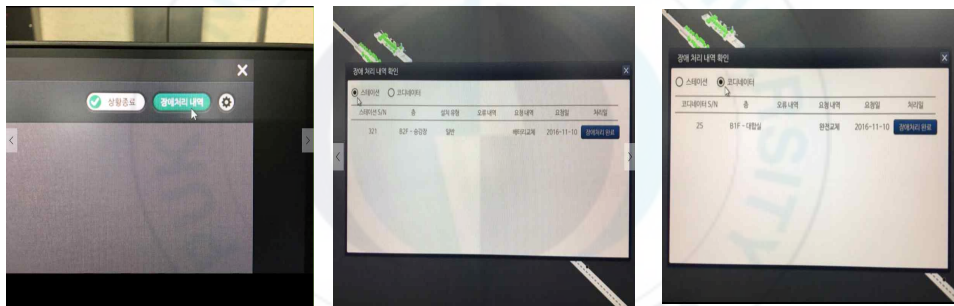
그림 4.15 수동제어 시험 관련 사진

바) 장애처리 모니터링 시험

사용자는 로그인 후 장애처리 내역을 조회할 수 있고 장애처리 완료 또한 조회할 수 있는가에 대한 시험을 실시하여 표 4.7 및 그림 4.16와 같이 확인하였다.

번호	세부 수행절차	예상결과	결과
1	사용자는 로그인 후 장애처리 내역을 조회할 수 있는 화면을 확인한다.	사용자는 로그인 후 장애처리 내역을 조회할 수 있는 화면이 보여 진다.	정상
2	사용자는 로그인 후 장애처리 완료를 조회할 수 있는 화면을 확인한다.	사용자는 로그인 후 장애처리 완료를 조회할 수 있는 화면이 보여 진다.	정상

표 4.7 장애처리 모니터링 시험표



장애처리 내역조회

장애처리 완료
(스테이션)

장애처리 완료
(코디네이터)

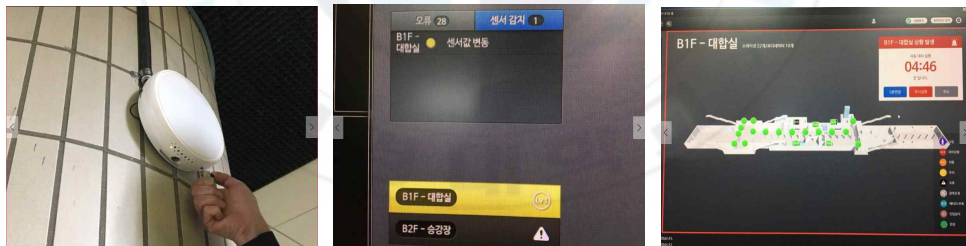
그림 4.16 장애처리 모니터링 시험 관련 사진

사) 위험상황 정보알림 모니터링 시험

사용자가 해당 스마트에이전트인 안내스테이션의 연기(가스) 감지에 따른 이벤트 발생 팝업을 확인하고, 열(온도)감지에 따른 이벤트 또한 확인하며, 층별 위험상병별 리스트 범례가 표시되는지 여부와 전동차 위험발생 시 및 강제대피 상황 팝업 모니터링이 확인되는지 여부를 표 4.8 및 그림 4.17과 같이 시험 확인 하였다.

번호	세부 수행절차	예상결과	결과
1	연기(가스) 감지 시 위험상황정보 알림 팝업	해당 스테이션의 연기(가스)감지에 따른 이벤트 발생 팝업을 확인할 수 있다.	정상
2	열/온도감지 시 위험상황정보알림 팝업	해당 스테이션의 열/온도 감지에 따른 이벤트 발생 팝업을 확인할 수 있다. : "○○층상황발생"	정상
3	위험상황발생 시 각 층별 리스트에 위험상황 반영	각 층별 리스트에 위험상황별 범례가 표시된다.	정상
4	차량 위험발생 시 모니터링화면에 팝업	차량 위험발생 시 팝업을 통해 모니터링 화면에서 확인할 수 있다.	정상
5	차량 강제대피상황발생 시 모니터링화면에 팝업	차량 강제대피 상황 발생 시 팝업을 통해 모니터링 화면에서 확인할 수 있다.	정상

표 4.8 위험상황 정보알림 모니터링 시험표



가스 센서 시험

센서 감지 화면

위험상황 알림 팝업

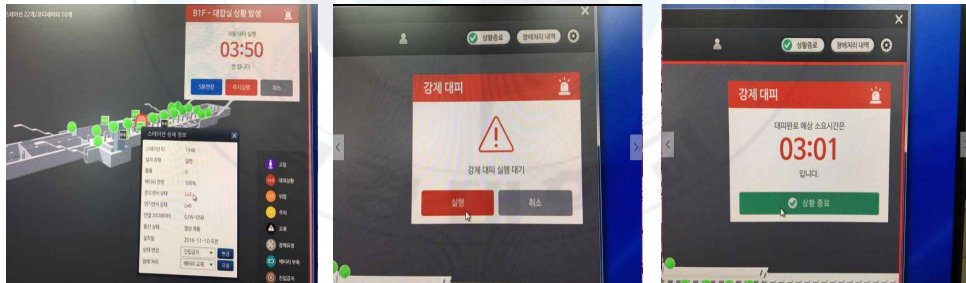
그림 4.17 위험상황 정보알림 모니터링 시험 관련 사진

아) 동작명령(자동/강제) 모니터링 시험

스마트에이전트인 안내스테이션에서 자동대피 및 강제대피 동작명령이 실행되어 음성과 시각(화살표, 진입금지)을 통해 자동대피 상황 시행여부 확인과 상황종료 명령 수행을 표 4.9 및 그림 4.18와 같이 확인하였다.

번호	세부 수행절차	예상결과	결과
1	스테이션에 자동대피 동작명령을 실행한다.	스테이션에서 자동대피 동작명령이 실행되어 음성과 시각(화살표, 진입금지)을 통해 자동대피 상황을 확인한다.	정상
2	스테이션에 강제대피 동작 명령을 실행한다.	스테이션에서 강제대피 동작명령이 실행되어 음성과 시각(화살표, 진입금지)을 통해 강제대피 상황을 확인한다.	정상
3	스테이션에 상황종료 명령을 실행한다.	상황종료 명령이 실행된 스테이션을 확인할 수 있다.	정상

표 4.9 동작명령(자동/강제) 모니터링 시험표



자동 대피 실행

강제 대피 실행

상황종료 명령 실행

그림 4.18 동작명령(자동/강제) 모니터링 시험 관련 사진

자) 접속정보 조회 및 환경설정 시험

사용자가 역무실에 설치된 프로그램에서 좌측 상단원형으로 접속정보 상태를 확인하고, 환경설정에서 디바이스 상태조회 주기설정시 변경한 주기로 디바이스 상태 조회 주기 변경이 되는지 여부와 디바이스 수동조회 시 상태

업데이트를 할 수 있고 변경한 주기로 유도 방향 조회 주기를 변경할 수 있는지 변경한 시간으로 대기모드 설정을 변경 가능하지 등을 표 4.10 및 그림 4.19와 같이 확인 시험하였다.

번호	세부 수행절차	예상결과	결과
1	좌측 상단원형으로 접속정보조회를 표기한다.	빨강 : 접속불량 초록 : 접속원활	정상
2	환경설정>디바이스상태조회주기 설정 10분/20분/30분/40분/50분/60분>설정	변경한 주기로 디바이스 상태 조회 주기를 변경할 수 있다.	정상
3	환경설정>디바이스 상태 수동 조회>정보업데이트	업데이트 버튼 기준으로 디바이스 상태를 업데이트 할 수 있다.	정상
4	환경설정>유도방향조회주기설정 10초/20초/30초/40초/50초/1분>설정	변경한 주기로 유도 방향 조회 주기를 변경할 수 있다.	정상
5	환경설정>대기모드대기진입시간 설정 15초/30초/1/2분/5분/10분>설정	변경한 시간으로 대기모드 대기진입 시간 설정을 변경할 수 있다.	정상
6	대기모드 층 전환 시간 설정한다.	대기모드 층 전환 시간을 설정할 수 있다.	정상

표 4.10 접속정보 조회 및 환경설정 시험 모니터링 시험표

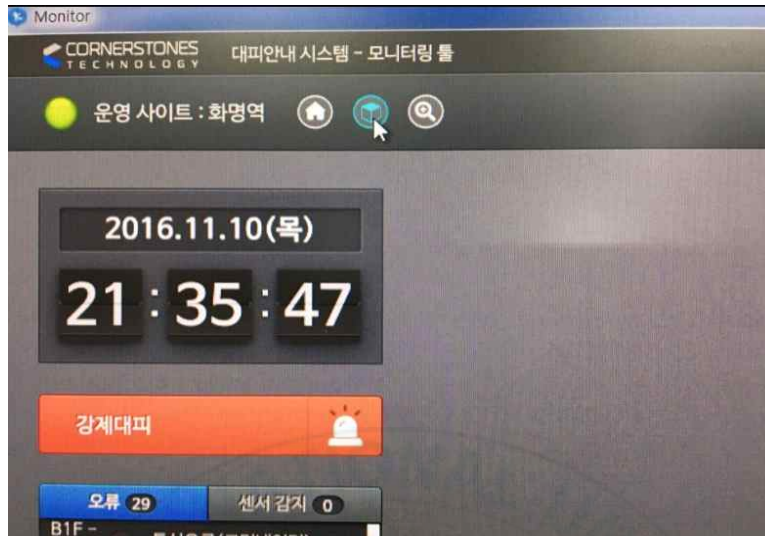


그림 4.19 접속정보 조회 시험 관련 사진

차) 진입열차 조회 및 열차 모니터링, 접속정보 조회 시험

열차 진입시 현재 진입열차에 대하여 화면현시 여부와 진입 열차에 대한 모니터링 화면으로 이동되는지 여부, 열차번호 모니터링 및 열량번호 조회 여부에 대하여 표 4.11 및 그림 4.20과 같이 확인 시험하였다.

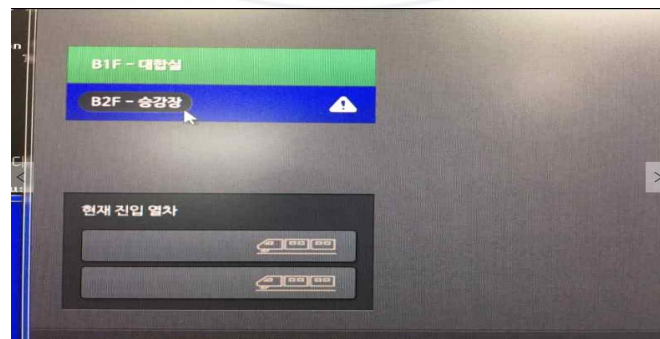


그림 4.20 진입열차 조회 시험 관련 사진

번호	세부 수행절차	예상결과	결과
1	열차 진입 시 '현재 진입 열차' 화면에 가시화한다.	상/하행선 열차 진입 시 각자 모니터링 화면에 표현된다.	정상
2	'현재 진입 열차' 화면 열차 선택 > 열차 모니터링 이동	현재 진입중인 열차 모니터링 화면으로 이동한다.	정상
3	모니터링 상단 열차번호 조회	열차 번호를 조회할 수 있다.	정상
4	각 열량 번호 조회	각 열량 번호를 조회할 수 있다.	정상
5	스테이션 클릭 > 스테이션 상세 정보 조회	ID/배터리잔량/통신상태 등 조회 등을 확인할 수 있다.	정상
6	코디네이터 클릭 > 스테이션 상세 정보 조회	스테이션 상세정보를 조회할 수 있다.	정상

표 4.11 진입열차 조회 및 열차 모니터링, 접속정보 조회 시험표

4.2.2 전동차 적용 시험 결과

가) 접속정보 조회 시험

전동차에 비치된 기관사용 테블릿 PC에서 접속정보 시험을 표 4.12 및 그림 4.21과 같이 시험 확인하였다.

번호	세부 수행절차	예상결과	결과
1	좌측 상단원형으로 접속정보조회를 표기한다.	빨강 : 접속불량 초록 : 접속원활	정상

표 4.12 접속정보 조회 시험표



그림 4.21 접속정보조회 시험 관련 사진

나) 열차 모니터링 시험

전동차 운전실에 비치된 기관사용 태블릿 PC에서 열차번호, 열량번호, 배터리 잔량, 통신상태 및 스마트에이전트인 안내스테이션 상태정보에 대하여 조회 확인 시험을 표 4.13 및 그림 4.22과 같이 확인하였다.

번호	세부 수행절차	예상결과	결과
1	모니터링상단열차번호조회	열차 번호를 조회할 수 있다.	정상
2	각 열량 번호 조회	각 열량 번호를 조회할 수 있다.	정상
3	스테이션 클릭 > 스테이션 상세 정보 조회	ID/배터리잔량/통신상태 등 조회 등을 확인할 수 있다.	정상
4	코디네이터 클릭 > 스테이션 상세 정보 조회	스테이션 상세정보를 조회할 수 있다.	정상

표 4.13 열차 모니터링 시험표



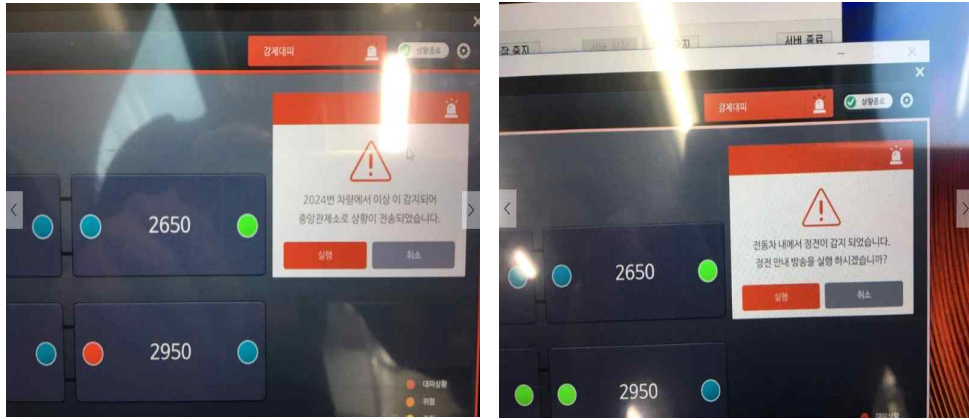
그림 4.22 열차 모니터링 시험 관련 사진

다) 위험상황 정보알림 시험

전동차 내 해당 스마트에이전트에서 연기(가스), 열(온도) 감지에 따른 이벤트 발생 팝업을 확인하고, 정전 시 정전 안내 팝업 및 음성 확인을 표 4.14 및 그림 4.23와 같이 시험 확인하였다.

번호	세부 수행절차	예상결과	결과
1	연기(가스) 센서를 통해 가스가 유입되었을 때 위험상황정보를 이벤트 팝업이 띄워진다.	해당 스테이션의 연기(가스)감지에 따른 이벤트 발생 팝업을 확인할 수 있다. : "○○층상황발생"	정상
2	열/온도센서를 통해 화재발생 정보를 이벤트 팝업이 띄워진다.	해당 스테이션의 열/온도 감지에 따른 이벤트 발생 팝업을 확인할 수 있다. : "○○층상황발생"	정상
3	정전 시 정전에 대한 안내 팝업을 실행한다.	정전 시 정전 안내 팝업과 음성 확인할 수 있다.	정상

표 4.14 위험상황 정보알림 시험표



위험상황 정보알림 팝업

정전 시 안내 팝업

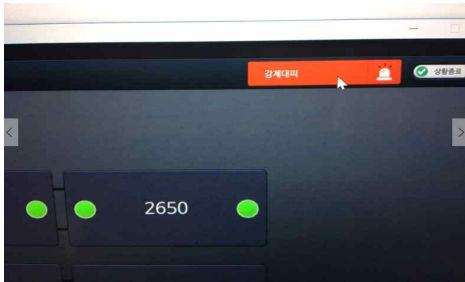
그림 4.23 위험상황 정보알림 시험 관련 사진

라) 강제 동작명령 시험

강제대피 버튼 선택 시 스마트에이전트(안내스테이션)가 상황에 맞는 대피 경로를 안내하는지 여부를 확인하고, 상황종료 명령이 실행된 스테이션을 확인되는지 여부를 표 4.15 및 그림 4.24과 같이 확인 시험하였다.

번호	세부 수행절차	예상결과	결과
1	강제대피를 실행한다. 스테이션선택(층 상관없이 복수 선택 가능)>강제대피실행 진입금지>강제대피실행	강제대피 버튼 선택 시 스테이션이 현 상황에 맞는 대피경로로 현장에서 대피경로 안내한다.	정상
2	스테이션에 상황종료 명령을 실행한다.	상황종료 명령이 실행된 스테이션을 확인할 수 있다.	정상

표 4.15 강제 동작명령 시험표



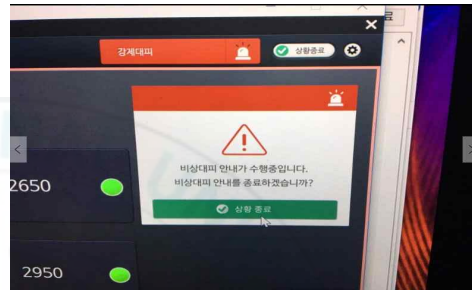
동작명령 실행



동작명령(대피안내)



동작명령(정전발생)

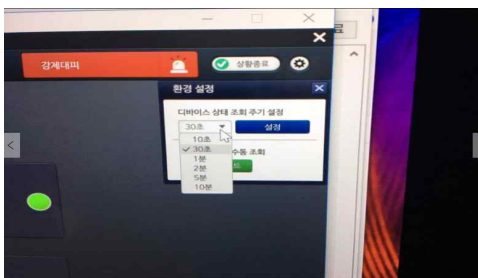


상황종료

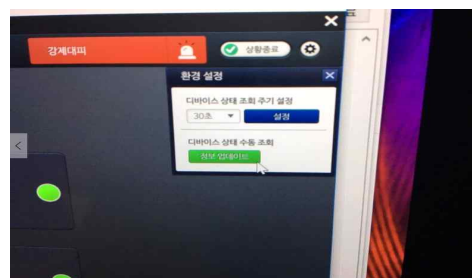
그림 4.24 강제 동작명령 시험 관련 사진

마) 환경설정 시험

전동차 운전실에 비치된 태블릿 PC에서 환경설정을 통한 디바이스 상태 조회 주기를 변경하고 정보업데이트 시 상태를 표 4.16 및 그림 4.25과 같이 확인 시험하였다.



환경설정



정보 업데이트

그림 4.25 환경설정 시험 관련 사진

V. 결 론

본 연구의 목적은 현재 도시철도 전동차 및 역사 등에 지속적인 재난 사고가 발생할 수 있는 실정에서 재난안전에 취약한 국내 도시철도 환경에 대한 개선이 필요하다고 사료되는 바 도시철도 시스템의 안전관리 체계를 연구하여 도시철도에 대한 효율적인 재난 응대를 할 수 있는 시스템 기반을 구축하고자 하는 것이다. 기존 아날로그 CCTV와 구형 화재경보시스템 기반의 수동적 감지 방식으로는 실시간 대응의 한계가 있고, 정적인 비상구 표시등과 일괄적 전관 안내 방송에 의한 대피방법으로는 화재 등 재난사고 발생 시 골든타임 이내 대피가 어려운 것이 현실이다.

이에 본 연구에서는 Time Expanded Minimum-cost Maximum-flow Algorithm 개념의 알고리즘을 적용하고, 별도의 망 사용료가 필요 없는 저전력 광대역 LPWA(Low Power Wide Area) LoRa Gateway 통신이 적용된 사물인터넷을 활용함으로써 비상상황 발생 시 역사(터널포함) 및 전동차에 설치한 스마트에이전트가 재난상황을 인식하여 상황정보를 중앙 관제에서 모니터링이 되도록 중앙 서버로 정보를 송신하고, 중앙 서버에서는 관련 정보를 분석하여 다시 스마트에이전트로 대피명령을 송신함으로써 최적의 대피경로를 음성, 화살표, 조명 등을 통하여 실시간 안내를 할 수 있도록 부산도시철도 2호선 전동차 3개 편성 및 화명역, 수정역, 본선 터널에 관련 장치를 구축하였고, 도시철도 적용에 효용성이 제고 될 수 있도록 분석 알고리즘 및 멀티센서, 스마트에이전트, 통신 디바이스 구성 등을 현실성 있게 최적화 하려는 연구를 진행하여 위험상황에 대한 정보 모니터링 및 대피명령 수행 등에 대한 적용 시험을 실시한 결과 대체로 만족할 만한 수준의 결과를 도출 할 수 있었다.

다만, 추후에 도시철도에 적용된 시스템을 실행 시에 필요로 하는 각종 자원(CPU, RAM, Disk등)의 허용하는 한도를 넘어서서 비정상적인 높은 부하를 발생시켜보는 시험이 필요하겠고, 적절한 부하를 발생시켜 통계적으로 의미 있는 수치를 측정하는 시험을 수행함으로써 시스템 또는 프로그램이 최대로 수용 가능한 동시 단말 사용자 수가 몇 명인지, 혹은 목표로 정한 성능이 도출되지 않을 때 병목지점이 어딘지를 밝히고 목표 성능을 획득하기 위해 무엇을 조정해야 하는 지를 알아내야 할 것이다.

향후 명기한 바와 같이 다양한 상황에 대한 시험 및 정확한 People Count 기술을 연구하여 비상상황 발생 시 병목지점 해결을 위해 추가 적용한다면 도시철도를 포함한 모든 산업현장 전체에 실질적으로 적용할 수 있는 매우 효율적인 시스템이 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Nammoon Kim, Youngok Kim, *Distributed evacuation guide system based on positioning information of passengers in the subway station*, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol. 15, No. 7*, 4528-4535, 2014
- [2] Paul Bryant, Christos Giachritsis, *The GETAWAY Project-improving passenger evacuation techniques in railway stations(and other transporthubs)*, *Transport Research Arena 2014, Paris*, 2014
- [3] Thomas J. Cova, Justin P. Johnson A, *network flow model for lane-based evacuation routing*, *Transportation Research PartA* 37 579 - 604, 2003
- [4] CHEN Yueming, XIAO Deyun *Emergency Evacuation Model and Algorithms JOURNAL OF TRANSPORTATION SYSTEMS ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY*, *Volume 8, Issue 6, December 2008*
- [5] P. Lin et al., *On the use of multi-stage time-varying quickest time approach for optimization of evacuation planning*, *Fire Safety Journal* 43 282-290, 2008

- [6] ManWo Ng, S. Travis Waller, *Reliable evacuation planning via demand inflation and supply deflation*, *Transportation Research Part E* 1086–1094, 2010
- [7] Gino J. Lim et al., *A capacitated network flow optimization approach for short notice evacuation planning*, *European Journal of Operational Research* 223 234–245, 2012
- [8] Augusto Morales et al., *Enhancing Evacuation Plans with a Situation Awareness System Based on End-User Knowledge Provision*, *Sensors* 2014, 14, 11153–11178, 2014
- [9] Eve Mitleton-Kelly et al., *Enhancing Crowd Evacuation and Traffic Management Through AmI Technologies : A Review of the Literature*, In *Co-evolution of Intelligent Socio-Technical Systems*(pp.19–41). Springer Berlin Heidelberg, 2013
- [10] Shu-jin Liu, Guo-qing Zhu, *The Application of GIS and IOT Technology on Building Fire Evacuation*, *Procedia Engineering* 71577–582, 2014
- [11] S.M. Lo et al., *An evacuation model : the SGEM package*, *Fire Safety Journal* 39 169–190, 2004

감사의 글

대학을 졸업하고 취직과 결혼, 자녀출생 등 20년 가까운 세월을 보내오다 부산교통공사 기술연구원으로 부서이동을 하게 되어 전공공부를 좀 더 해야겠다는 생각을 하던 중 같은 부서 한성우 차장님의 권유로 부경대학교 일반대학원 제어계측공학과를 진학하게 되었던 것이 었그제 같은데 어느덧 석사학위 논문을 마치며 감사의 글을 적고 있습니다.

회사 및 가정생활 등 평범한 삶에 익숙해져 나름 바쁜 일상생활을 늘 해 오던 중 금번 석사과정을 통하여 지도교수님이신 변기식 교수님을 비롯하여 학과 여러 교수님들 그리고 학우들의 만남이 이루어졌고 이로 인하여 저의 삶에 또 다른 희망과 열정을 맘 깊이 숨겨둔 곳에서 꺼낼 수 있었던 거 같아 너무 행복하다는 생각이 듭니다.

인생의 삶에서 자신의 목표를 얼마만큼을 이루었는지도 매우 중요한 관점 이겠지만 도전과 희망, 열정을 새로이 품을 수 있었던 금번 석사과정은 잊을 수 없는 인생의 매우 중요한 한 부분이 될 것 같습니다.

우선 바쁜 회사생활에서도 석사과정을 마칠 수 있도록 늘 격려와 진심어린 애정으로 배려해 주신 박종흠 사장님, 박희철 본부장님, 박상현 원장님 그리고 가족 같이 늘 지내고 있는 우리 부서 동료인 장문섭씨 등 여러 직원들에게 감사와 미안함을 이 글로서 우선 전하고 싶습니다.

또한, 참으로 부족한 저를 지속적 격려와 믿음의 지도를 통하여 오늘의 저를 있게 해주신 평생의 스승인 지도교수 변기식 교수님의 은혜에 고개 숙여 깊은 감사의 말씀을 전하고 싶습니다. 논문 작성과정에서 많은 지도와 조언을 해 주신 황용연 교수님, 원영수 박사님께도 깊은 감사의 뜻을 전하고 싶고, 우리 학과 멋지고 인자하신 김남우 교수님, 이형기 교수님, 최연욱 교수님, 이경창 교수님, 김만고 교수님, 안영주 교수님들께도 고개 숙여 감사드립니다.

처음에는 너무 어렵고 부담스럽게만 느껴졌던 논문 작성이 어느덧 최종 마무리 단계까지 왔습니다. 이 과정에서 여러모로 도와주고 힘이 되어 준 연구실 김민 연구원을 비롯하여 정재훈, 최명훈, 박원현, 이동현 등 여러 학우들, 지인인 김동오 박사님, 최장원 박사님, 김동혁 대표님, 김종현 이사님께도 심심한 감사의 말씀을 드립니다. 항상 곁에서 서로에게 좋은 충고와 아낌없는 조언을 해줬기에 더 기억에 남으며 보이지 않는 경쟁 속에서 훈훈한 정을 느낄 수 있어 항상 행복했습니다. 혼자가 아닌 모두가 함께이기에 논문을 완성할 수 있지 않았나 하고 생각해 봅니다.

또한, 함께 직장 다니면서도 공부를 같이하고 심심한 조언을 진심으로 늘 해주신 한성우 차장님, 서승삼, 이무현 동료, 신은혜 팀장님, 최재선 대표님 등에도 한없는 동료애와 감사의 마음을 가지고 있음을 이 기회를 두고 말씀드립니다.

마지막으로 실질적인 조언보다는 태산같이 의지할 수 있어 무사히 과정을 마칠 수 있도록 관심과 사랑을 주시는 인생의 든든한 후원자 부모님과 매일같이 늦게 귀가하는 남편을 짜증한번 없이 조력해준 아내, 아빠 역할도 제대로 못해 늘 미안한 우리딸에게도 감사의 말씀을 진심으로 전하고 싶습니다. 가족들 모두 이번 논문을 쓰면서 바쁘고 힘든 순간순간 보이지는 않지만 항상 저의 힘의 원동력이 되지 않았나 하는 생각을 감사의 글을 통해서 전할 수 있어 한편으로 매우 기쁘게 생각하고 있습니다.

이제 석사과정을 마치고 다시 한 번 박사과정에 도전하는 꿈을 꾸어 보려 합니다. 지금 늦은 만학도가 꿈을 꿀 수 있는 것은 혼자가 아닌 앞서 감사의 말씀을 전한 여러 분들이 계셨기에 해 볼 수 있다고 생각합니다.

앞으로의 과정에서는 더욱 진실 되고 최선을 다하는 자세로 늘 함께하시는 분들에게 은혜를 갚을까 합니다.

도와주신 여러분의 가정의 행복과 하시는 일에 충만함을 이룰 수 있도록 2017년 정유년(丁酉年) 새해에 감사의 글을 마치며 진심으로 빌어 봅니다.

2017년 2월
이진한 올림