

장대철도터널 배연설비와 연동되는 피난유도시스템 개발연구

A Study on the Development of Guiding Exit Sign System be linked
Longitudinal Tunnel of Smoke Exhaust System

김인태*†, 이유림*, 이다혜*, 최장원**, 박윤철***, 정남철***

In-Tea Kim*†, You-Lim Lee*, Da-Hye Lee*

Jang-Won Choi**, Yoon-Cheol Park***, Nam-Cheol Jung***

Abstract Currently, it is a trend that the danger in the tunnel is increasing because the tunnel tends to be longer due to the characteristics of mountainous area in Korea. The purpose of this study is to propose a more clear direction to evacuate the passengers safely by designing a control system of an evacuation guide light that works with Smoke Exhaustion Equipment so that the passengers can safely evacuate from a train when fire breaks out in the tunnel. The evacuation guide light shows the left and right direction at the same time due to being on all the time, thus, it may make passengers confused in the evacuation direction. Therefore, after the evacuation guide light is divided into two directions, the control system is configured to be worked with Smoke Exhaustion Equipment so that the only evacuation guide light of the evacuation direction is turned on while that of Smoke Exhaustion Equipment direction is turned off. The control system uses TCP/IP communication method from the remote control panel of Smoke Exhaustion Equipment. If the control logic of the guide light is determined after the guide light acquires operating information of the Smoke Exhaustion Equipment, the decision guides a safe evacuation direction because the order of lights-out with LoRa wireless communication method is transmitted to each guide light.

Keywords : Longitudinal rail tunnel, Smoke Exhaust System, Guiding Exit Sign System

초 록 우리나라는 산악지역 특성으로 인해 터널이 장대화 되는 경향이 있어 터널 내에서의 위험성이 증가하고 있는 추세이다. 본 연구에서는 터널 내 열차화재로부터 승객이 안전하게 대피할 수 있도록 배연설비와 연동되는 피난유도등 제어시스템을 설계하여 보다 명확한 피난방향을 제시하고자 한다. 터널 내 피난유도등은 상시 점등 상태로 좌우방향을 동시에 표시하고 있어 피난 방향에 혼돈을 줄 수 있다. 따라서 피난유도등을 반으로 나누어 배연방향을 피난유도등을 소등하고 피난방향을 피난유도등만 점등되도록 배연설비와 연동하여 제어시스템을 구성한다. 제어시스템 구성은 터널 배연설비 원격제어반으로부터 TCP/IP 통신방식으로 배연설비 작동정보를 취득하고, 그에 따른 유도등 제어 Logic 이 결정되면 LoRa 무선통신방식으로 개별 유도등에 대한 소등명령이 전송되어 안전한 피난방향을 제시할 수 있도록 한다.

주요어 : 장대철도터널, 배연설비, 피난유도시스템

† 교신저자: 한방유비스(주) (kit4263@kfubis.com)

* 한방유비스(주)

** (주)코너스톤즈테크놀로지

*** 한국철도시설공단

1. 서론

우리나라는 도시 밀집화로 인한 지상 교통난의 해소 및 산악지형 특성으로 인해 터널 건설이 증가하는 추세에 있으며, 선형개량 등의 이유로 장대터널이 차지하는 비중이 높아지고 있다. 이러한 터널의 장대화는 밀폐공간이라는 특성으로 인해 대형인명피해 우려가 있으며, 폭열에 의한 직접피해는 물론 교통마비로 인한 간접손실이 발생하게 된다

국내외에서 발생한 장대터널에서의 화재는 많은 인명피해를 수반하는 사고로 확대 되는데, 몽블랑 터널화재(1999년, 사망 41명, 부상 27명), 타우에른 터널화재(1999년, 사망 12명, 부상 49명), 오스트리아 산악 터널화재(2000년, 사망 155명), 고타드 터널화재(2001년, 사망 11명, 부상 80명), 대구지하철 화재(2003년, 사망 192명 및 실종 148명)와 홍지문 터널 화재(2003년, 부상 48명) 등 많은 사례가 있다.

불특정 다수가 체류하는 장대 터널에서의 화재특성은 다음과 같다.

- 많은 인원(약1,008명)을 수송하게 되어 인명피해 가능성이 높다.
- 수 km(울현터널 약 50.3km)의 길이로 인해 대피동선이 길다.
- 밀폐된 공간으로 인해 연기 배출이 어렵다.
- 연기거동 예측이 어렵다.
- 가연물의 양이 많고 연료로 인해 열 방출율이 높다.
- 외곽지역에 위치하여 신속한 접근이 어렵다.

따라서 화재 단독사고나 지진 등으로 인한 복합재난 시에 효율적인 피난을 위해 적정한 피난 유도시스템이 반드시 필요하다. 특히, 지상건축물과 달리 피난자들이 안전한 지역으로 대피하기까지의 이동거리가 길고 단일 방향으로 이동해야 하므로 연기 흐름 방향과 반대로 대피하는 것이 무엇보다 중요하다.

본 연구의 목적은 터널의 장대화 경향에 따라 터널 내 열차화재로부터 승객이 안전하게 대피할 수 있도록 하는데 있다. 이를 위해 배연설비 운전모드와 피난유도등을 연동하여 명확한 피난방향을 안내할 수 있는 부분 점등형 피난유도등 및 그 제어시스템을 개발하고자 한다.

2. 장대터널현황

2. 장대터널 현황

2.1 철도터널 현황

가. 울현 터널

- 우리나라에서 가장 긴 터널로, 고속철도 수서역과 지제역을 연결하며 수도권고속선에 위치한 길이 50.3km의 철도터널이다. 수도권고속선의 82%를 차지하며, 이중 동탄~수서구간은 GTX와 공용하게 된다. 터널 내에 동탄역이 위치하고 있다.



Fig.1 Yulhyeon Tunnel status -1



Fig. 2 Yulhyeon Tunnel status -2

나. 대관령 터널

- 원주~강릉선에 위치하고 진부역과 남강릉역 사이에 있으며 길이 21.7km의 철도터널이다. 터널 내에 신호장인 대관령역이 존재한다.



Fig. 3 Daegwanryung Tunnel status

다. 금정 터널

- 경부고속선에 위치하고 울산역과 부산역 사이에 있으며 노포역 인근에서 터널이 시작되어 부산진역 인근에서 터널이 끝난다. 길이 20.3km의 철도터널이다.

라. 슬안 터널

- 기존 심포리역~홍전역~나한정역 구간을 대신 할 루프식 터널로써 백두대간을 관통하는 길이 16.7km의 철도터널이다. 터널 내에 무인 신호장인 슬안역이 존재한다

3. 제어시스템 구성

3.1 TCP/IP 기반 장대터널 배연설비 작동정보 수집

‘Fig.4’의 수도권고속철도 울현터널 구간과 같이 최근에는 터널 내부온도를 자동 감지하여 외부온도와 비정상적인 차이가 날 경우 배연송풍기가 자동으로 가동되고, 이 때 제연송풍기는 외부 공기를 터널 내부로 불어넣어 원활한 배연을 지원하는 자동화된 화재감지 및 배연설비가 도입되는 추세이다. 즉, 울현터널 내부에서 화재가 발생할 경우 터널 내부 온도 상승이 감지되고, 그에 따라 자동으로 송풍기가 작동되며 이를 감지한 관제소에서 기관사에게 연락을 취하여 승객들에 대한 대피안내가 이루어지도록 한다. 이러한 화재감지 및 배연설비 작동 상황은 원격제어시스템을 통해 모니터링 되고 필요에 따라 수동으로 배연설비를 작동시킬 수도 있다. 2017년 개통 예정인 대관령터널의 경우 평상시 세 개의 경사궤를 기준으로 중앙급기 및 양단배기 방식으로 운전하며, 화재 시에 화재발생 위치에 따라 급기운전 및 배연운전 모드가 자동으로 제어되거나, 중앙제어실에서 개별 송풍기에 대한 급기운전 또는 배연운전 여부를 결정하여 작동시키게 된다.

본 연구에서는 화재에 따른 대피안내 개시 시점에 배연설비의 작동상황 정보를 TCP/IP 통신을 통해 습득하여, 현재 작동 중인 배연설비의 위치 및 작동방향 정보에 기반하여 유도등 점등방향에 대한 제어 Logic을 결정하게 된다. TCP/IP 통신으로 수집되는 정보는 {FAN_id, MODE_pull(0)_push(1)}의 형태로 구성되며, 개별 송풍기의 고유 식별자와 현재 작동 방향 정보를 의미한다.

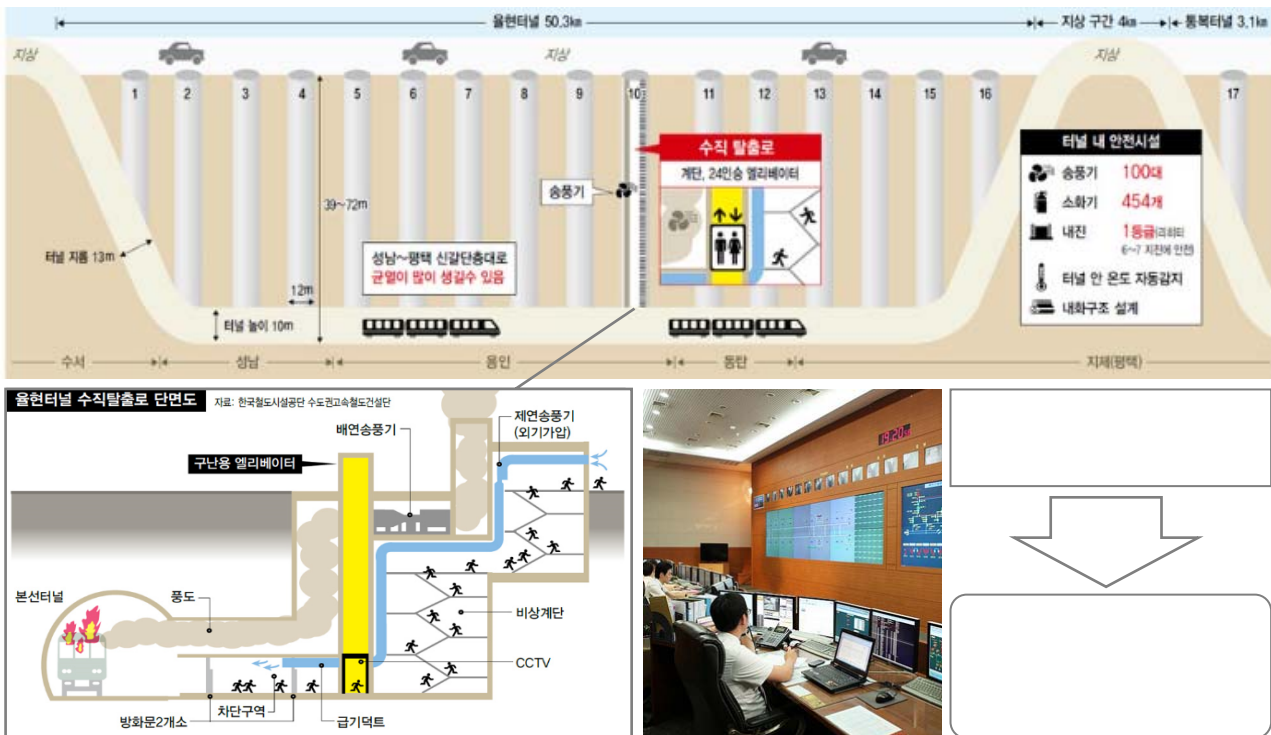


Fig. 4 Gathering Smoke Exhaust System Data via TCP/IP Communication

3.2 피난유도등 제어 Logic에 따른 LoRa 통신 기반 무선 제어 신호 전송

승객의 대피방향은 “배연방향의 반대방향”이어야 하며, 터널 내 화재가 발생할 경우 화재 발생 위치를 기준으로 좌측 및 우측 수직갱의 송풍기 운전모드가 결정될 것이므로, 두 수직갱 사이에서 대피해야 하는 승객들은 가까운 수직갱 방향이 아닌 배연방향의 반대방향에 있는 수직갱쪽으로 대피안내를 받을 수 있어야 한다. 일반적인 상황에서 화재발생 위치가 좌측 수직갱 부근이라면 좌측 수직갱은 배기모드, 우측 수직갱은 급기모드로 작동하고, 대피방향은 우측 수직갱 방향이어야 한다. 반대로 화재발생 위치가 우측 수직갱 부근이라면 좌측 수직갱은 급기모드, 우측 수직갱은 배기모드로 작동하고, 대피방향은 좌측 수직갱 방향이 될 것이다. 화재로 인한 연기의 배기를 우선시할 것인지, 승객의 대피 동선을 우선시할 것인지에 따라 송풍기 작동모드가 달라질 수는 있겠으나, 어떠한 경우이던 승객의 대피방향은 배연방향과 반대쪽 방향이어야 한다는 사실은 변하지 않음을 전제로 한다.

피난유도등 제어시스템은 두 개의 수직갱을 연결하는 구간 단위로 피난유도등 제어를 실행하게 되며, 배연설비 원격제어시스템으로부터 수집된 {FAN_1, MODE_0}, {FAN_2, MODE_1}과 같은 형식의 데이터로부터 피난유도등 제어 필요 구간 및 제어 방향을 결정하게 된다. 수직갱 간 구간단위의 피난유도등 점등 제어 Logic은 다음과 같다.

```

Receive_FAN_INFO {FAN_n, MODE_value}, {FAN_n+1, MODE_value}, {FAN_n+2, MODE_value}...
Contral_Area = {FAN_n, FAN_n+1}, {FAN_n+1, FAN_n+2}
Smoke_Flow {FAN_n, FAN_n+1} == "LEFT" IF (MODE_value(n) - MODE_value(n+1)) = -1
Smoke_Flow {FAN_n, FAN_n+1} == "RIGHT" IF (MODE_value(n) - MODE_value(n+1)) = 1
Evacuation_Direction {FAN_n, FAN_n+1} == Reverse_Smoke_Flow {FAN_n, FAN_n+1}
Smoke_Flow {FAN_n+1, FAN_n+2} == "LEFT" IF (MODE_value(n+1) - MODE_value(n+2)) = -1
Smoke_Flow {FAN_n+1, FAN_n+2} == "RIGHT" IF (MODE_value(n+1) - MODE_value(n+2)) = 1
Evacuation_Direction {FAN_n+1, FAN_n+2} == Reverse_Smoke_Flow {FAN_n+1, FAN_n+2}
    
```

이상과 같이 구간 단위로 피난유도등이 안내해야 할 대피방향이 결정되면, 다음 단계로 해당 구간에 일정 간격으로 설치되어 있는 상시점등 상태의 거리표시 유도등들에게 대피방향과 반대되는 방향의 조명을 소등하라는 제어신호를 전송해야 한다. 본 연구에서는 피난유도등으로 소등 제어신호를 전송하는 방식에 있어, 유선통신망 대비 시스템 구축 시간 및 비용을 절감할 수 있으며 최근 사물인터넷 분야 저전력 광역(LPWA: Low Power Wide Area) 무선통신 기술로 활용되고 있는 917~923.5MHz 대역 LoRa(Long Range) 무선통신을 적용하여, Fig. 5와 같이 터널구간 인근 역사에 설치된 유도등 제어시스템과 연결되어 있는 LoRa 송신기로부터 개별 피난유도등으로 소등 제어신호를 전송한다.

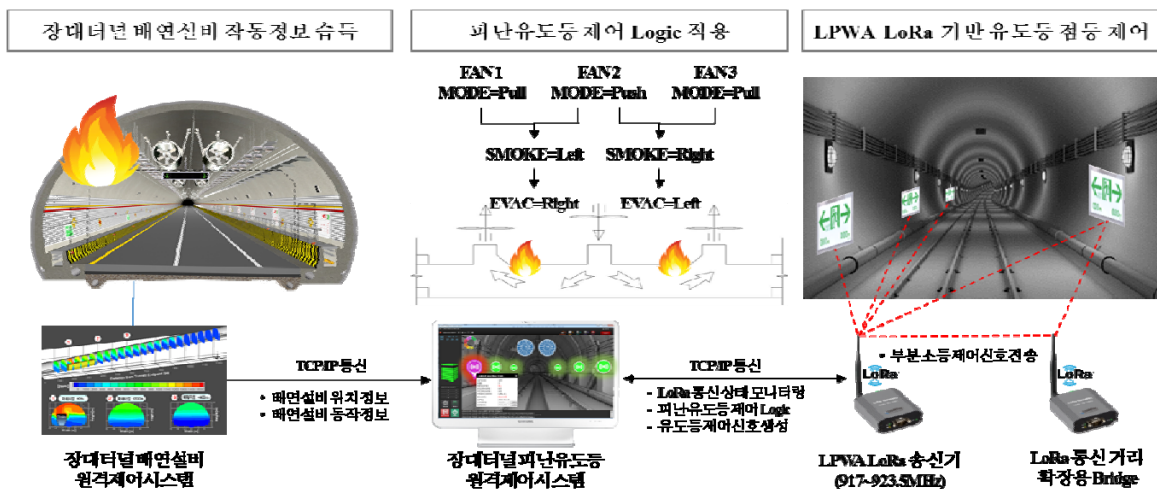


Fig. 5 LPWA LoRa Wireless Communication for Remote Exit Light Control

3.3 LoRa 수신 모듈 연결형 피난유도등 동작제어

Fig. 6의 좌측 그림과 같이 기존 터널 내 거리표시 피난유도등의 경우 좌우방향 모두에 대한 비상구까지의 거리를 상시 점등 상태로 표출하고 있으며, 내부 LED 도광판의 구성방식도 일반적으로 상, 하 2개로 이루어져 있어 좌, 우 분할 점등 기능을 제공하지 못한다. 본 연구에서는 Fig. 6의 우측 그림과 같이 좌, 우 분할 점등 시에도 명확한 표시 내용이 유지될 수 있고, LoRa 수신모듈과 쉽게 연결될 수 있는 외함 방식의 제어 함체로 구성된 좌, 우 분할점등식 피난유도등을 사용하여, 대피상황에서 명확한 대피방향 안내가 가능토록 하였다.



Fig. 6 Legacy Exit Signage vs. LoRa-based Controllable Exit Signage

4. 결론

장대터널 철도 화재 시 밀집, 폐쇄된 공간의 특성으로 인해 한번 사고가 발생하면 손을 쓰기가 어렵고 대형참사를 초래할 개연성이 높다는 특징을 지니고 있으므로[2] 피난방향이 명확해야 한다. 현재 터널에 설치되어 있는 피난유도표지는 양쪽의 거리만 표시되어 있어 피난자에게 혼돈을 줄 수 있는 가능성이 높다. 본 연구에서는 피난자의 신속하고 정확한 대피를 위하여 배연설비와 연동하는 피난유도시스템을 연구하였다. 피난유도등을 반으로 나누어 배연방향을 피난유도등을 소등하고 피난방향을 피난유도등만 점등되도록 배연설비와 연동하여 Logic을 구성하였다. 제어시스템 구성은 터널 배연설비 원격제어반으로 부터 TCP/IP 통신방식으로 배연설비 작동정보를 취득하여 유도등 제어 Logic이 결정되면 LoRa 무선통신방식으로 개별 유도등에 대한 소등명령이 전송되어 안전한 피난방향을 제시하도록 구성하였다. 본 연구를 통해 기대하고 있는 효과는 명확한 피난 방향을 제시함으로써 피난자의 혼란을 줄여 신속하게 피난 및 대형참사의 가능성을 줄여주는 것이다. 향후 연구에는 설계한 Logic을 확인하기 위하여 시제품 제작 및 연동검증하고 이에 따른 결과로 방재시스템(배연설비) 연동 피난유도시스템 설계기준 및 시설방안 재정립이 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 강승구, 김세중, 김동준, 권영진(2009), '장대터널의 성능적 화재안전설계를 위한 국내외 터널 화재사례 분석', 한국화재소방학회 학술대회 논문집, pp.342-345
- [2] 유용석(2003), [논단]장대터널에서의 안전문제, 지반환경, 4(4), pp.4-5
- [3] 차준혁(2015), 대심도 본선 및 지하역사에 적합한 방재기준 개선방안에 관한 연구 - 수도권 광역급행철도를 중심으로 -, 석사학위, 한국교통대학교
- [4] 유재룡(2008), 둔내 터널 일 방향 도로 터널에서 환기에 대한 거동 분석, 석사학위, 강원대학교

- [1] Seung Goo Kang, Se Jong Kim, Dong Joon Kim, Young Jin Kwon (2009), An Investigation on the Tunnel fire accident Performance Based Fire Safety Design in Korea and foreign Countries, KOREAN INSTITUTE OF FIRE SCIENCE & ENGINEERING, pp.342-345
- [2] You Yoong- Suk(2003), Safety issues in Long tunnels, Korean Geo-Environmental Society, 4(4),pp.4-5
- [3] Cha Jun-hyeok(2015), A Study on the Improvement of Fire Prevention Standards for Deep Tunnel and Underground Railway Station - Focused on Seoul Metropolitan Train Express -, master, KOREA NATIONAL UNIVERSITY OF TRANSPORTATION
- [4] You Jae-Ryong(2008), Dunnae tunnel in one direction Road Tunnel Behavior Analysis on ventilation, master, KANGWON NATIONAL UNIVERSITY