도로터널 내 비상전원 이중화에 의한 안전성 확보 연구

Study on Securing Safety Based on Emergency Power Dualization inside Road Tunnel

김재영* · 민세홍**

Kim, Jaeyoung*, and Min, Sehong**

Abstract

With continued economic development, movement and logistics to various parts of the country are increasing. Consequently, long tunnels in the mountains and the large city underground road tunnels under construction have become increasingly important. Further, the escalating number of road tunnels has resulted in the deepening of tunnels and an increase in the number of long tunnels. Because it is highly possible for a traffic accident inside a tunnel to cause further accidents, various safety improvement measures should be prepared. To resolve the problem, dualizing the emergency power of CCTVs (which perform the major functions of tunnel safety) is proposed for application in a plan to improve safety. This plan improves safety control inside the tunnel and contributes to its maintenance. This study was prompted by the expressway tunnel accidents that occurred in the Central Region Expressway in October 2015 and February 2016. The safety security system based on the dualization of the emergency power inside the road tunnel is being monitored, with its application in some tunnels as the pilot project of an actual lab concept. Moreover, measures on safety control inside the road tunnel can be prepared through the monitoring.

Key words : Road Tunnel, Safety Control, Dualization of CCTV Emergency Power

요 지

경제 발전에 따라 전국 각지로의 물류 및 이동이 증가하고 있으며, 이에 따라 도로터널은 산악지의 장대터널과 최근에 건설 중인 대도시 지하도로 터널의 비중이 점차적으로 증가 예상되고 있다. 터널에서의 교통사고는 2차사고로 이어질 가능성이 크므로 이에 따른 각종 안전 향상 방안이 마련되어야 할 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 터널 안전의 주요기능을 담당하는 CCTV를 중심으로 터널 내 비상전원 이중화에 따른 안전향상 방안을 적용하고자 한다. 이로 인해 터널 내 안전관리 향상은 물론 유지 보수에도 많은 기여를 하리라 판단한다. 본 논문에서는 2015년 10월과 2016년 2월에 중부내륙고속도로에서 발생했던 고속도로 터널 사고로 기인하여 연구를 시작하게 되었다. 리빙랩 개념의 시범사업으로 일부 터널에 설치해서 도로터널 내 비상전원 이중화에 의한 안전성 확보에 대한 시스템을 모니터링 중에 있고 또한, 이것을 통해 도로터널 내 안전관리에 대한 대책 마련을 할 수 있다고 판단된다.

핵심용어 : 도로터널, 안전관리, CCTV 비상전원 이중화

1. 서 론

소득 증가 및 경제발전에 따라 차량을 이용한 이동과 물류의 증가로 이어지고 있다. 이와 관련하여 원활한 교통

및 물류를 위해 도로의 확장과 선형개량화를 비롯한 신규 도로 건설이 활발히 이루어지고 있으며, 이에 따라 도로터널의 증가와 더불어 터널의 심도와 동시에 장대터널 비중이 높아지고 있다.

*정회원, 가천대학교 일반대학원 박사과정(E-mail: jykim@seoulmetro.co.kr)

Member, Ph.D Candidate, Researcher, Department of Fire & Disaster Protection Engineering, Gachon University

**교신저자, 정회원, 가천대학교 공과대학 설비·소방공학과 교수(Tel: +82-31-750-5714, Fax: +82-31-750-8749, E-mail: shmin@gachon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Fire & Disaster Protection Engineering, Gachon University

그러나, 차량성능 향상에 따른 도로 터널에서의 과속, 운전부주의 등에 따른 교통사고로 인한 1차 피해와 더불어 터널 내부에서의 전방 시인성과 다른 대피방안의 부재로 발생하는 2차 사고 등으로 피해가 급증하고 있다. 도로터널의 대심도화와 장대화로 인한 많은 인명 피해의 발생은 큰 사회적 이슈로 도로터널에서의 재난시 안전 대책의 중요성이 특히 강조되고 있는 시점이다(Choe and Min, 2017).

지난 2015년 10월 중부내륙고속도로 마산방면 하행선 상주터널사고가 가장 대표적인 사례라 하겠다. 3.5톤 화물차가 1차로로 진행 중 전방 차선 도색 공사로 차량이 정체된 것을 뒤늦게 발견하고 2차로로 급차선변경하여 터널 내부 벽에 충돌하면서 적재함에 실린 신너통이 도로에 떨어져 인명피해(사망 1명, 경상 7명)와 물적 피해(차량 11대 전소)가 발생하였다. 또한, 지난 2016년 2월 상주시 낙동면 중부내륙고속도로 하행선 상주터널 132 km 지점에서 25톤 화물차에서 화재가 발생하여 차량 1대가 전소하고, 고속도로를 이용하던 귀성객 100여명이 긴급대피하는 사고가 발생하였다.

이와 같이 도로터널에서의 1차 사고는 2차 사고와 화재 사고로 연계 가능성이 높으며, 이는 공간의 밀폐뿐만 아니라 공기 유동의 제약으로 더 큰 사고로 이어질 수 있어 도로터널의 안전 대책이 시급한 실정이다(Koo, 2015). 앞서 도로 터널내 사고에 대한 이미지를 Figs. 1과 2에 나타냈듯이 도로터널에서 화재 등의 재난으로 정전되어 각종 방재시설들의 작동이 불능화하여 더 큰 2차 사고가 발생됨을 확인하였다.

Fig. 1. SangJu Road Tunnel Accident on Oct. 26, 2015

Fig. 2. SangJu Road Tunnel Accident on Feb. 5, 2016

이에 본 연구에서는 도로터널의 전원공급 방식과 CCTV의 운영방식을 중심으로 사고 대응방안을 분석하여 도로터널내 안전관리를 향상할 수 있는 전원의 이중화시스템을 제안하고자 한다.

2. 도로터널 현황

도로터널은 ‘도로의 일부로서 자동차의 통행을 위해 지붕이 있는 지하 구조물’로 ‘도로법’ 제8조에서 규정하고 있으며, 관련 규칙으로는 ‘도로터널 방재시설 설치 및 관리지침’(국토교통부예규 제139호)와 ‘도로터널의 화재안전기준(NFSC 603, 2017)’(소방청 고시 제2017-1호)의 2건이 있다(MOLIT, 2019).

지자체인 경기도와 전라북도에서는 ‘도로터널의 안전관리에 관한 조례’를 각각 제정하였다(2015년, 2017년). 즉, 도로터널은 도로법의 일부로서 관리되고 있으며, 설치 및 관리는 국토교통부에서 화재안전기준은 소방청에서 담당하고 있다.

‘도로터널 방재시설 설치 및 관리지침’에서 방재시설중 비상전원설비(무정전전원설비, 비상발전설비)등에 관한 규정들을, ‘도로터널의 화재안전기준(NFSC 603, 2017)’(소방청)에서는 소화기와 소화전설비 등을 규정하고 있다.

2017년 12월말 기준으로 우리나라의 도로터널은 총 2,382개소, 총연장 1,811 km이며 연평균증가율은 터널수에서 8.42%, 연장은 9.19%의 비율로 꾸준히 증가하고 있다.

수많은 도로에 터널중, 고속국도에 설치되어 있는 터널은 수량이 1,159개소에 연장길이는 994 km로 터널중에 많은 터널이 고속도로에 존재하고 있다. 관련된 내용은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Status of Road Tunnel of Korea (Dec. 2017)

Base Year	Number of Tunnels		Length (m)
Dec. 2007	1,064		754,795
Dec. 2016	2,189		1,626,008
Dec. 2017	2,382		1,811,109
Comparables To December 2017	vs. Dec. 2007	Number of Tunnels Increased	1,318
		Annual Rate	8.42%
	vs. Dec. 2016	Number of Tunnels Increased	193
		Annual Rate	8.82%

우리나라의 도로터널중 가장 긴 터널은 서울양양고속도로(고속도로 60호선)에 있는 인제양양터널로 10,960 m (2017년 준공)이며, 가장 오래된 터널은 1926년에 준공된 640 m의 전남 여수에 있는 마래 2터널이다.

Fig. 3에는 터널개통 및 확장은 매년 증가되는 내용을 나타내었다.

특히, 도로터널의 개소 및 연장 증가에 따라 터널내 교통사고는(MOLIT, 2018) Table 2와 같이 발생하고 있으며 사고에 따른 인명피해(사망과 부상)와 터널 화재 등이 꾸준히 증가하고 있다.

Fig. 3. Tunnel Opening and Extension Increase Tend by Year

Table 2. Traffic Accidents in Tunnels in Year

Class	Year					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
No. of Accidents	589	539	539	638	535	725
No. of Deaths	44	23	20	32	27	28
No. of Injured	1,373	1,205	1,173	1,600	1,224	1,581

3. 기존 도로터널 전기설비의 구성

본 장에서는 기존의 도로터널의 전기설비의 구성과 운영 지침에 대해 전개하였으며, 또한, 도로터널의 사고가 증가함에 국토교통부에서 도로터널 관련법의 예규변경 사항을 정리하였다.

3.1 기존 도로터널의 전기설비 구성과 안전관리 현황

터널의 안전관리를 위하여 CCTV, 제연·소방·비상방송·비상발전설비, 정보표지, 대피통로, 판, 사고 자동감지설비 등 24개 시설을 국토교통부 예규에 따라 터널 등급별로 설치하여야 한다. 또한, 조명과 전기시설은 ‘전기사업법’에 의해, 소화전·제연설비 등 소방시설은 ‘소방시설법’에 따라 점검 관리가 필요하다. 고압 수전설비, 비상용 예비발전설비 등에 대해서는 3년마다 정밀점검을, 방재시설, 전원설비 등의 정상작동 유무를 관련법규에 따라 점검하여야 한다.

도로터널 방재시설과 관련된 개요도를 다음 Fig. 4에 나타내었다.

3.2 도로터널 안전강화관련 예규

도로터널에서 발생하는 각종 사고에 대비하여 사고 발생 시 신속한 초기대응 중심으로 위기대응 매뉴얼을 운영하고

Fig. 4. Road Tunnel Disaster Prevention Facilities

있으며, 사고 대응능력 강화를 위하여 소방·경찰 등 관련 유관기관과 협조하여 현장 실전훈련을 터널관리기관별로 매년 2회 이상 실전대응훈련을 시행하고 있다. 또한, 사고시 사고 감지, 상황전파, 인명구조 등의 신속한 초기대응을 위해 터널 부근의 민간인을 활용한 ‘안전도우미’ 제도를 운영하고 있다. 사고 예방을 위한 지속적인 제도 개선으로 장대터널에 간이소방서 설치, CCTV 설치 대상 확대 등을 추진하고 있다. 기존의 1,000 m 이상 의무설치에서 500 m 이상 의무, 200 m 이상 권장 설치로 2016년 8월 국토교통부 예규 제 139호로 변경·추가되었다.

4. 도로터널 전원 이중화 시스템

도로터널내 대형 재난의 우려로 국토교통부에서 도로터널내 안전성 강화를 위한 관련법 변경만으로는 실질적인 도로터널내의 안전성을 확보할 수 없다고 판단된다.

이에 본 연구에서는 도로터널내의 전원 공급 및 CCTV 운영과 관련한 전원 이중화시스템을 다음과 같이 제안한다. 이와 더불어 제안된 이중화시스템의 연구검증을 위해 리빙랩 개념의 시범사업으로서 실제 터널에 전원 이중화시스템을 건설현장에서 시공 중에 있다.

4.1 기존 도로터널 전원 공급 방식

도로터널에는 터널 내의 조명 및 각종 안전기구의 설치 운영을 위하여 전원이 공급되고 있다. 대부분의 도로터널에 안전을 위하여 CCTV가 설치, 운영되고 있다. 현재 도로터널의 전원공급 및 CCTV 시스템의 전원공급은 관리동 또는 변전실에서 상, 하행 노선별 1회선으로 구성되어 있다. 전원이 1회선으로 구성된 기존 터널의 개요도를 Fig. 5에 나타내었다.

도로터널 내부의 전원공급 방식은 상행선과 하행선을 구별하여 전원을 공급함에 따라 화재발생으로 전원케이블에 화재가 옮길 경우 일방향 전체가 정전되는 사태발생으로 사고현장 CCTV시스템 모니터링 및 관제 불가능 현상이 발생한다. 또한, CCTV시스템 작동불능에 따라 비상전화, 대피안내방송 및 경고방송, L2함체(녹화영상 전송장비) 등이 불능이 된다.

Fig. 5. Existing CCTV Power Supply in Road Tunnel

4.2 CCTV중심의 전원이중화 자동전환 전원공급 방식

도로터널 내부에서 교통사고 등으로 인한 화재발생시 터널내부 전원케이블 소실로 교통관제 시스템의 운영이 정지되어 사고의 처리가 늦어지는 원인이 되어 다수의 인명피해 발생으로 확대될 가능성이 크며, 도로터널에서의 각종 사고는 직접적인 사고뿐만 아니라 2차 사고의 위험성도 내포되어 있어 대책마련이 필요하였다.

지난 2016년 4월경 건설중인 터널 구간에서 화재로 인한 전원케이블 소실시 ITS 장비와 비상조명등 전원공급을 위한 대책 및 ‘CCTV시스템 복선화’ 방안의 연구개발 필요성이 제기되었다(KoRoad, 2018).

이와 같은 2차 사고를 방지하기 위하여 여러 방안을 검토하여 도로터널에 설치된 CCTV 시스템을 좌측 1차로 벽면에 복선화에 대한 연구개발을 진행하였다. 복선화에 더불어 전원 차단을 방지하기 위하여 ‘전원이중화 자동전환 방식’을 같이 고려하였으며 Fig. 6에 회로를 나타내었다.

Fig. 6. Double Track Concept of Existing CCTV

4.3 시범사업

연구개발 완료후, 시공중인 도로터널에 전원공급 및 CCTV시스템에 적용할 수 있는 ‘전원이중화 자동전환장치’를 시범 설치하였으며, 그 결과를 활용하여 2017년 4월 동홍천~양양간 고속도로의 인제터널에 설치하였으며, 아래 그림에 회로도도를 표시하였다. 시범사업은 건설 예산 부족으로 중단되어 많은 아쉬움이 있다.

관련된 회로도의 예를 Fig. 7에 나타내었다.

4.4 시범사업 결과 및 개선사항

터널 내 전원 이중화 설치 작업을 하면 터널내부 CCTV시

Fig. 7. Automatic Power Switching Circuit

스템의 전원공급 방법을 전원이중화 자동전환장치로 변경함으로써 CCTV 시스템의 지속적인 작동이 가능하고 CCTV 영상, 경고방송, 대피안내방송, 비상전화를 통해 신속한 대피와 대응이 가능하며 비상전원으로 LED 투광등을 밝혀 시야확보를 통한 안전한 대피를 가능하게 하였으며 유지보수 관리자가 차량 안에서 이동중에도 근거리 무선통신기기를 통해 CCTV시스템의 전원이상 유무 데이터를 스마트폰으로 확인하여 관리자의 유지보수 업무의 신속한 점검과 안전성을 확보할 수 있고 기존의 점검방식은 유지보수 관리자가 터널 내 점검지점을 도보로 이동 및 점검하여 관리자와 고속도로를 운행하는 차량운전자의 안전 미확보를 개선할 수 있었으며 기존의 CCTV시스템 복선화 방식을 대비하여 ‘전원 이중화 자동전환’방식이 예산 절감효과가 클 것으로 예상된다.

5. 결 론

도로터널 내부에서 교통사고 및 정전으로 인한 2차사고로 인한 화재 등의 재난발생시 터널내부 전원케이블 소실로 교통관제시스템의 운영이 정지되어 사고의 처리가 늦어지는 원인이 되어 다수의 인명피해 발생으로 확대될 우려가 크다. 이에 본 연구에서는 우리나라 도로터널내의 안전관리 강화를 위해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 현재 도로터널관련 전원은 1회선으로 설치되어 있어, 터널내 화재 등 재난시 정전으로 대형 재난의 가능성이 높음을 확인하였다.
- (2) 이에, 도로터널 전원의 복선화(이중화)를 구성하여 정전시 대응이 가능한 시스템을 제안하였다. 또한, 이와 관련하여 리빙랩 개념의 현장 설치로 이론적 개념을 실제로 시스템화하였다.
- (3) CCTV는 터널내 재난발생시 그 원인을 확인할 수 있는 유일한 시스템으로, 터널내 전원 이중화에서 특히 CCTV 시스템의 복선화 구성과 더불어 전원이중화 자동전환 방식을 제안하며, 이는 터널내 재난발생시 원인분석에 크게 기여할 것으로 기대한다.
- (4) 우리나라 지형특성상 수많은 도로터널에서의 재난7 발생시 원인분석과 사고방지 및 대응을 위해 도로터

널에 대해 자동전원전환장치의 설치가 시급히 요구된다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 - 재난안전플랫폼기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. NRF-2017M3D7A1071832).

References

- Choe, W.J., and Min, S.H. (2017). A study on the redefine of the evacuation time of the subway station with a deep depth. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 4, pp. 165-171.
- Koo, H.M. (2015). *A study on integrated system of disaster management on road tunnel*. Master's thesis, Gachon

University.

- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2018). *2018 Yearbook of road bridge and tunnel statistics*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2019). *Road Act*.
- NFSC 603. (2017). *Road safety standards for road tunnels*. National Fire Agency.
- Korea Road Traffic Authority (KoRoad). (2018). *Traffic accident analysis system*, Retrieved from <http://taas.koroad.or.kr/>

Received	November 11, 2019
Revised	November 12, 2019
Accepted	November 21, 2019