

도로터널의 방재시설

김 남 영 / 삼보기술단 기전부(n220911@naver.com)

터널방재 개요

도로터널은 지하공간 특성상 어둡고 환기가 곤란하여 화재 발생시 연기에 의한 질식의 위험이 상존하고, 외부와 연락이 곤란할 뿐만 아니라 터널 내부에서도 상호 정보 교환이 늦어 위험성 인지가 곤란하다.

또한 도로의 기능상 불특정 다수인들이 차량에 의해 이동하므로, 교통사고의 위험성이 높고 각종 인화성 물질 및 독극물 등의 위험물 이동에 따른 사고 위험성이 상존하며, 지하의 습기와 차량이동에 따른 진동 등으로 방재시설의 유지관리가 곤란하다.

아울러, 유사시 대피나 소화활동에 대한 안전교육이 부족하여 미연에 방지할 수 있는 작은 사고가 대

형사고로 커지는 경우가 많다.

따라서, 본고에서는 터널내 설치되는 방재 시설들의 형태와 기능을 세부적으로 알아보고, 통합된 방재시스템 및 방재 시나리오를 제시하며 터널 이용자의 홍보 또는 교육의 중요성을 살펴본다.

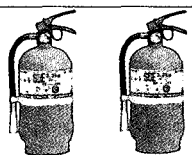
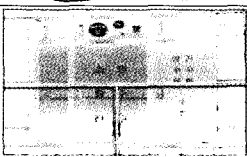
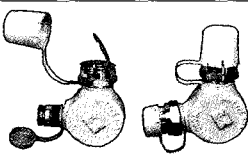
방재시설

1) 소화설비

도로터널내 차량 화재시 소화를 하기 위한 소화설비는 방재시설 기준에 소화기, 소화전, 물분무 소화설비가 있다. 소화기는 A급, B급, C급 화재에 적용성이 있는 분말소화기가 주로 설치된다.

분말소화약제는 인산암모늄이 주성분이며 화재열

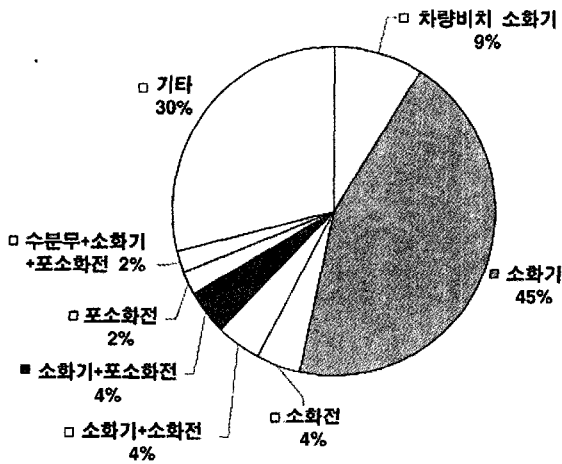
<표 1> 소화설비

명칭	형상	기능	설치기준
소화기		ABC급 화재에 적응성이 좋고, 초기화재 진압에 유효	50 m 이내 간격
소화전		화재초기 터널 이용자가 진화 Ø 40 옥내소화전 : 터널이용자 Ø 65 방수구 : 소방관	50 m 이내 간격
물분무		안개형상의 미세물분무 자동소화	3 km 이상 1등급 터널 권고사항

을 받으면 불활성가스가 발생하여 연소를 중지시킨다. 저장과 취급이 용이하나 소화 작업시 호흡기로 약제를 흡입할 우려가 있으므로 바람을 등지고 방사를 하는 것이 바람직하다.

옥내소화전은 화재를 발견한 터널 이용자가 사용하는 소화설비로, 밸브를 열면 배관내 압력이 낮아져 압력스위치가 작동하고 기계실에 있는 소방펌프가 자동으로 가동되어 소화수가 공급된다.

소화전의 문짝을 열면 40 mm 옥내소화전 밸브가



[그림 1] 화재시 사용 소화설비

있는데 항상 호스가 연결되어 있어야 한다. 그러나 호스가 연결되어 있지 않은 터널도 종종 조사 보고 되고 있어 보완이 요구된다.

옥내 소화전 함에 설치되어 있는 연결송수관 설비의 방수구인 65 mm 밸브는 물을 분사할 때 반발력이 커서 훈련받은 소방관이 사용해야 하며, 방수구의 호스와 노즐은 방수용 기구함에 내장되어 있다.

물분무 소화설비는 원래 안개형상의 미세한 물을 분사시키는 소화설비이지만, 터널용 물분무소화설비는 방사 도달거리가 길어야 하므로 스프링클러 물방울 정도 크기를 분사한다.

연기에 물을 분사하면 연기와 분무수가 혼합되어 대피를 곤란하게 하므로 사람이 없는 것을 확인하고 관련자의 판단에 따라 물을 분무해야 한다.

소화기는 크기가 작지만 이용빈도가 가장 높은 소화설비로서 일본 수도고속도로 공단의 통계에 따르면 터널내 화재시 사용한 소화설비는 터널내 비치된 소화기 사용이 45%, 차량에 비치된 소화기 9%로 50% 이상이 소화기를 사용한 것으로 조사되었다. 따라서, 소화기는 초기 화재 진압에 중요한 역할을 하므로 항상 사용할 수 있도록 유지 관리를 하여야 한다.

소화기는 외관 점검과 내부 분말이 습기에 의해 굳었는지 일정기간마다 확인을 하여야 하며, 분말은 가스압력에 의해 방사되므로 가스 압력도 수시로 체

<표 2> 경보설비

명칭	형상	기능	설치기준
발신기		발견자가 수동조작 사고위치 인식 터널내 경보	50 m 이내 간격
비상방송설비		차량에서 탈출한 도로이용자에게 스피커를 통해 대피지시	50 m 이내 간격
비상전화		중앙감시실과 통화 중앙감시실에서 비상전화 위치 파악 가능	250 m 이내 간격

크하여야 한다.

또한 조사에 따르면 소화기를 도난당한 터널이 많은 것으로 파악되고 있어 보충이 요구된다.

2) 경보설비

경보설비는 유사시 사고 발생을 도로 관리자 및 소방대나 도로 이용자들에게 통보하기 위한 설비이며, 사고를 관리자에게 알려주는 비상정보설비, 비상전화, 자동화재탐지설비와 터널 이용자들에게 통보해주는 비상정보설비, 비상방송설비, 라디오재방송설비, 정보표지판으로 구성된다.


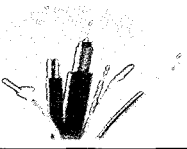
경보설비 중 발신기는 발신기 버튼과 표시등이 있

으며, 내부에 있는 경종소리가 잘 들리도록 함 표면에는 Holl이 뚫려있다. 발신기 버튼을 누르면 감시실과 터널에 경보를 울리고 감시실에서 그 위치를 알 수 있으며, 50 m 이내 간격으로 설치하게 되어 있어 소화전함에 함께 설치되는 경우가 많다.




비상방송설비는 차량에서 탈출한 사람들에게 대피요령을 통보하는 목적이며, 그 시설로는 확성기가 있다. 요즘음 설치하는 확성기는 신호선이 연결되지 않고 무선으로 작동되는 것이 사용되고 있으며, 터널벽체에 음향이 반사되는 간향이 적은 방향으로 각도를 조정하여 설치되어야 한다.

비상전화는 중앙감시실과 통화할 수 있는 유선전

<표 3> 화재감지기

명칭	형상	기능	설치기준
공기관식 선형 감지		천정에 설치된 관내 공기의 가열 팽창률로 화재감지	터널 전구간
광센서 선형 감지		레이저파를 광섬유에 입사 열에 진동하는 SiO ₂ 입자에 반사된 산란광 분석 거리와 온도 파악	터널 전구간

<표 4> 감시 및 통보설비

명칭	형상	기능	설치기준
CCTV		화재감지기, 소화전 개폐함 등과 연동 발견자가 수동조작 사고위치 인식	200~400 m 간격
라디오재방송 설비		차량내에서 라디오를 정취하는 이용자에게 화재상황 통보	전구간
정보표지판 (VMS)		터널내 상황을 문자로 터널진입 차량에 통보	터널 전방 500 m 이내



화로, 중앙감시실에서 통화중인 비상전화 위치를 파악할 수 있다.

화재감지기는 연소에 의해 생성되는 빛, 열, 연기 등을 감지하여 화재 발생을 감지하는 설비로, 화염의 적외선과 자외선 스펙트럼을 감지하는 감지기와 연기를 감지하는 이온식, 광전식 감지기 등이 있으며 주로 건물에서 사용된다.

국내의 도로 터널에서는 주로 공기관식 선형감지기를 사용하고 있다. 공기관식 선형감지기는 1세트 당 약 150 m 간격으로 터널 천정에 설치되며, 화재 열에 의한 공기 팽창률이 기준치 이상일 때 경보를 울리는 차동식 화재감지기이다.

광센서 선형감지기는 광섬유의 성분인 산화규소 입자의 열진동에 의해 산란되어 반사되어오는 레이저광을 분석하여 온도와 화재 위치를 파악할 수 있는 감지기이며, 현재 실용화를 위해 국내에서 개발 중이다.

CCTV는 화재감지기 작동 등에 의해 화재 위치를 자동으로 확대하여 보거나 감시자가 수동으로 확대하여 볼 수 있으며, 화재감지기나 소화전 문짝 개방, 그리고 비상전화 수화기를 들면 그 위치를 CCTV가 자동으로 비추게 된다.

라디오 재방송 설비는 차량내에서 청취하는 라디오 방송을 비상시 비상방송으로 자동으로 교체하는 통보설비이며, 평상시 방송과 휴대폰 등에 이용하던 터널 천장에 설치된 누설동축안테나를 이용하게 된다.

정보표지판은 터널 500 m 전방에 설치하여 터널내

의 상황을 문자로 터널 진입차량에 통보한다.

전동스크린 차단막은 정보표지판 등으로 통보를 하여도 운전자들이 계속 진입하여 2차 사고로 확대되는 것을 방지하기 위해, 터널 입구에 설치하여 외부차량을 차단하는 설비로 도로터널 방재시설 설치 기준에는 규정이 없다.

최근 확성기 및 경광등 차로 표시기를 추가한 전동스크린 차단막을 사용하기도 한다.

3) 피난설비

피난설비는 화재가 발생한 터널에서 터널 밖으로 안전하게 유도하고 피난시키기 위한 시설로 직접적 피난 대피할 수 있는 피난연락갱, 사갱, 대피소, 피난갱 등이 있으며, 피난을 도와주는 간접적 피난설비인 비상조명등, 유도표시판, 유도표시등이 있다.

피난연결통로라고도 불리는 피난연락갱은 터널이 쌍굴일 경우 화재터널과 상대터널을 연결하여 피난하도록 연결하는 통로이며 대인용과 차량용으로 구분된다.

사갱은 터널 중간에서 외부로 탈출 가능한 경사터널이며 피난갱 설치가 불가능한 대면교통 터널에 설치한다.

대피소는 외부로 탈출하지 못하는 안전구역인 shelter로 이중 방화문을 설치하고 공기공급장치, 외부연락통신시설, 비상조명등이 설치되어야 한다.

피난연락갱문은 슬라이딩 형식과 샷타 방식인 롤링업 형식이 있는데, 외부 동력원이 없고 풍압에 잘 견디며 인력으로 작동이 가능한 슬라이딩 형식을 최

<표 5> 전동 스크린

명칭	형상	기능	설치기준
전동 스크린 (차단막)		터널내 화재시 차단막이 내려오고 경광등 및 확성기 설비에 의한 진입 방지 (터널전방 설치 가능)	기준없음

근엔 주로 설치하고 있다.

화재시 피난을 도와주는 간접피난 설비들인 비상조명등은 사용 전원 차단 시 비상전원에 의해 조명을 하며 비상조명등의 1/2은 무정전 설비 전원을 공급받고, 나머지는 발전기의 전력을 받아 전력의 공급 안정성을 증대한다.

유도표지판중 비상구 표시등은 피난연결통로 등 탈출구 위치를 알리기 위한 표지판이며 유도표시등

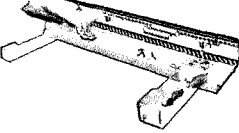


은 피난대피시설의 방향 및 거리를 표시하여 대피를 유도하는 설비이다.

4) 소화활동 설비

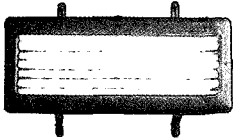
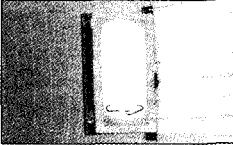
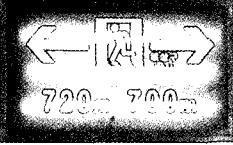
소화활동설비는 외부기관의 소방관 등이 화재를 진압하거나 인명구조활동을 하는데 필요한 설비이다.

제연설비는 평소 사용되던 환기설비를 활용하게 되는데 횡류식 환기방식은 터널외부에 환기실을 설

<표 6> 대피시설

명칭	형상	기능	설치기준
피난연락경 (피난연결통로)		화재터널과 상대터널을 연결하여 피난하도록 연결 (대인용과 차량용)	① 인도용: 250 m ~ 300 m ② 차량용: 750 m
사갱		터널 중간에서 외부로 탈출 가능한 부속 터널	피난갱 설치 불가능한 대면교통 터널
대피소		외부로 대피는 불가능 공기 공급장치 등을 설치하여 한시적 대피가능	피난갱 설치 불가능한 대면교통 터널

<표 7> 유도표시등

명칭	형상	기능	설치기준
비상조명등		사용 전원 차단시 비상 전원에 의한 조명	전구간 (15 Lux)
유도표시판 (비상구표시등)		피난연결통로 등 피난대피시설의 위치 알리기 위한 표지판	피난대피 시설 부근
유도표시등		피난 대피시설의 방향 및 거리를 표시하여 대피를 유도	피난대피 시설간 최소 4개소 이상

치하고 터널내에 급기와 배기 덕트를 설치하여 급배기를 하는 방식으로 화재시에는 급기팬을 역전시켜 연기를 빼내는 배연을 한다.

반회류방식은 터널 외부에 설치된 환기실에서 터널내의 덕트를 통해 급기 또는 배기를 하여 환기하는 방식으로 화재시 이 덕트를 통해 배연을 한다.

이 두 방식은 정체빈도가 높거나 대면교통터널에 적합한 방식이다.

종류식 환기방식은 차량의 교통환기력을 활용하는 방식으로 유지관리가 용이하며, 활용할 수 있는 터널 단면적이 넓어 운전환경에 좋은 장점이 있으므로 최근 대부분의 터널환기에 적용하는 방식이다.

수직구 환기방식은 수직구를 이용하여 오염물질을 외부로 배출하고 외부의 신선한 공기를 터널내로 공급하는 방식이다. 수직구 전단에서 화재가 발생하면 수직구를 이용하여 배연을 하고, 수직구 후단에서

화재가 발생하면 급기를 하여 터널 출구방향으로 제연한다.


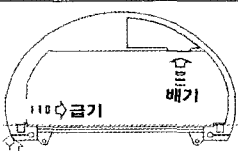

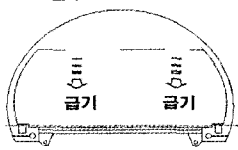
제트팬 종류 환기방식은 초기 투자비와 에너지 비용이 적게 소요되는 방식으로 화재시에 차량진행방향으로 제연팬에 의해 제연한다.

종류식 환기방식의 제연에 관한 개념은 좌측으로 진행하던 차량에 화재가 발생한 경우 공기 관성력에 의해 연기가 좌측으로 이동하다가 차츰 관성력이 적어지면 오른쪽으로 역류하기 시작한다. 이때 피난 방향으로 연기가 역류하여 피난자에게 미치지 못하도록 좌측으로 제연을 하여야 한다.

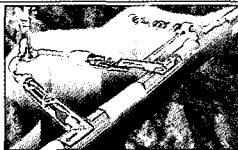
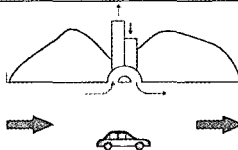
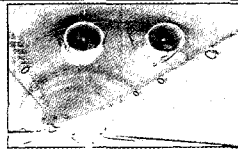
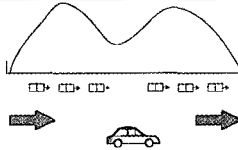
화재열기는 부력에 의해 천장으로 떠서 좌우측으로 이동하게 되는데 천장에는 ceiling jet flow가 형성된다. 상향 경사쪽으로 부력이 더욱 작용하므로 피난 방향이 상향 경사일때는 더욱 불리하다.

천장을 따라 흐르던 연기는 천장 라이닝과의 열 교

<표 8> 횡류/반회류식 환기방식

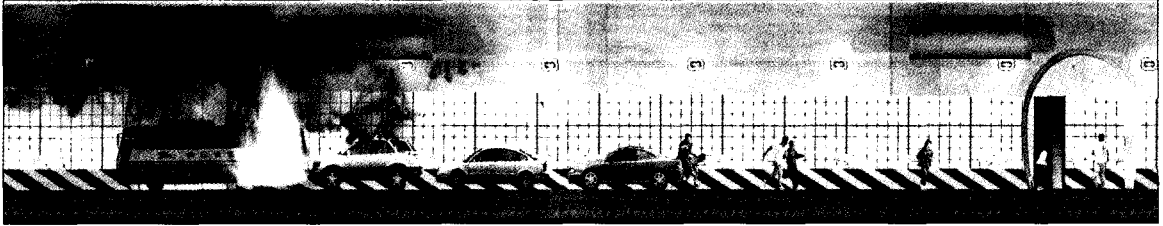
명칭	환기방법		배연/제연
횡류식			<ul style="list-style-type: none"> ■터널에 설치된 급배기 덕트를 통해서 배연 제연(Smoke control) - 종류식 배연(Exhaust smoke) - (반)횡류식
반회류식			<ul style="list-style-type: none"> ■터널에 설치된 급기 또는 배기덕트를 통해 배연(역회전 운전시 Time delay 필요)

<표 9> 종류식 환기방식

명칭	환기방법		배연/제연
수직구			<ul style="list-style-type: none"> ■수직구를 중심으로 화재위치에 따라 급기(제연) 또는 배연하는 방식 (관리자의 판단 필요)
제트팬			<ul style="list-style-type: none"> ■차량진행 방향으로 제연팬(Jet Fan)에 의해 제연하는 방식

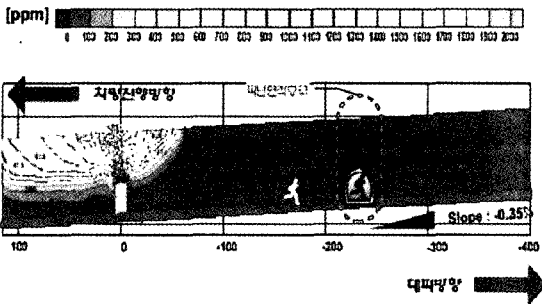
환에 의해 부력을 잃고 하강하는데 공기흐름이 없는 경우, 라이닝과 토양의 열전달 계수, 침강속도에 따라 다르지만 하강 거리는 약 130 m 정도 된다.

그림 4 그래프는 공기 관성력이 있는 경우의 최종 피난자의 대피 거리와 연기역류거리를 분석한 것이다.

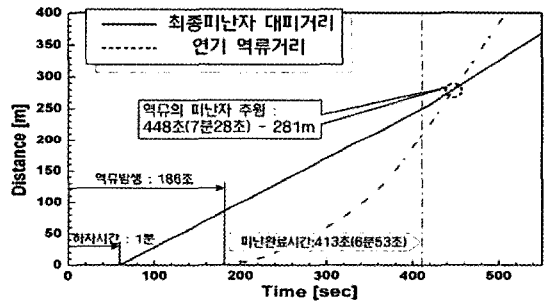


← 차량진행방향 ← 공기관성력 ← 제연방향 피난방향 → 피난연결통로

[그림 2] 제연 및 피난 개념



[그림 3] 화재시 연기의 거동



[그림 4] 대피거리와 연기 역류거리

<표 10> 소화활동 설비

명칭	형상	기능	설치기준
무선통신 보조설비		터널내 구조활동 및 소화활동시 터널 내·외부간의 무선통신을 위한 설비	터널 입출구 부근
연결송수관 설비		화재진압을 위해 터널내 방수구에 소화용수를 공급	① 송수구: 터널 입출구 부근 ② 방수구: 50m 이내
비상콘센트 설비		구조활동이나 소화활동을 위해 필요한 전원을 공급	50 m 이내 간격



연기가 피난자를 추월하는 거리는 281 m 정도로 피난연락갱 설치기준인 250 m 간격은 안전한 것으로 분석되었다. 이 거리는 제연팬이 가동되지 않아도 피난 할 수 있는 피난거리를 규정한 것이다.

무선통신보조설비는 터널 외부의 소방관이 터널 내부의 소방관에게 무전기로 통신을 원할 경우 터널 입구의 단자함에 신호를 입력하는 설비로 전파는 터널 천장에 설치된 무선 통신 케이블로 송수신 된다.

연결송수관설비는 소방 펌프차가 소화수를 터널내 방수구로 보내기 위한 설비이다.

터널의 소화용수가 고갈되었을때 유용하며, 비상 콘센트설비는 소방관이 사용하는 구조용 또는 소화 활동용 절단기나 팬, 조명시설 등에 전원 공급을 위

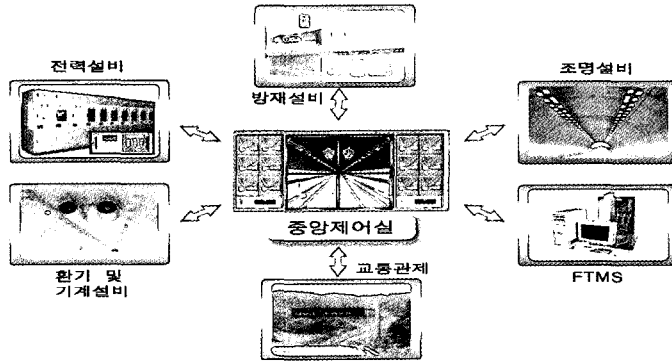
한 설비이다.

비상전원설비는 터널내 정전시 비상조명등의 기능을 유지하기 위한 전원공급설비로서 무정전전원설비와 비상발전기로 구분된다.

무정전전원설비는 축전지 설비의 일종으로 상시전원이 차단되면 즉시 전원을 공급해주는설비로 20분 용량이며, 큰 용량의 비상전력은 비상발전기에 의해 공급되고, 약 20~30초간의 time delay가 있으며, 2시간동안 사용이 가능하다.

통합 방재시스템

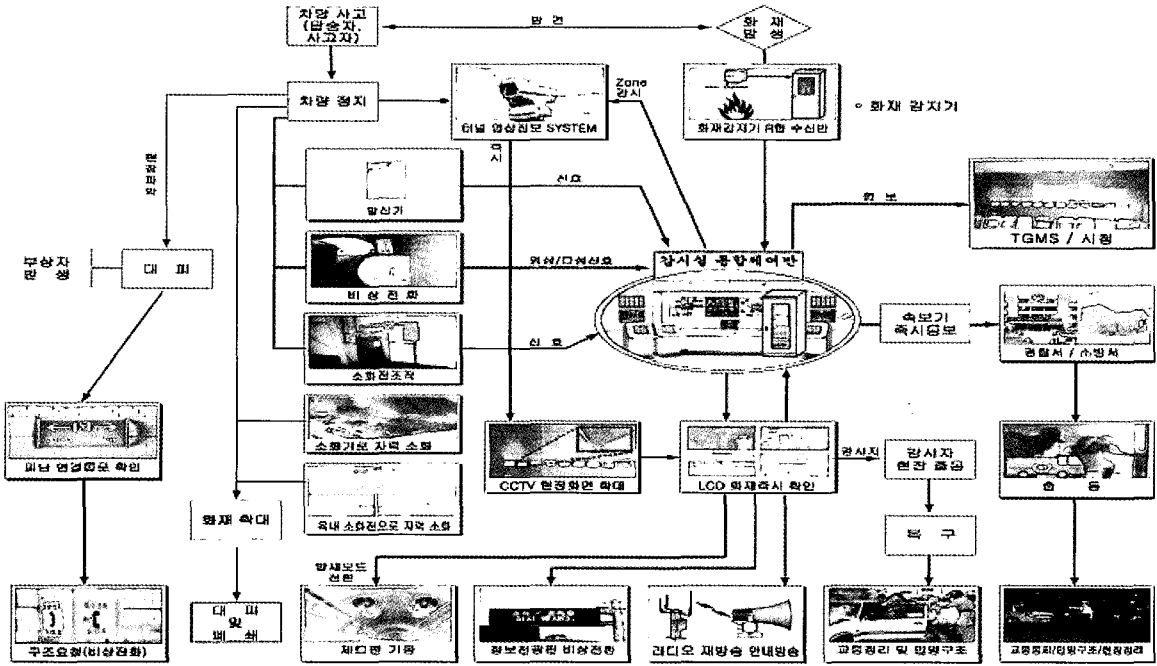
지금까지는 개별적인 방재설비에 대해 알아보았는



[그림 5] 통합방재시스템

<표 11> 비상전원설비

명칭	형상	기능	설치기준
무정전 전원설비 (UPS)		터널내 화재 등 비상사태로 인하여 터널내 정전상황이 발생하는 경우에 비상발전기의 전원공급 개시전 및 비상발전기 가동 정지후 일정시간 비상전원을 공급	전기실에 설치
비상발전설비 (GE)		터널내 정전이 발생하는 경우 옥내소화전설비, 제연설비 등의 방재설비에 비상전원을 공급	전기실에 설치



[그림 6] 방재 시나리오

데, 유사시 안전도를 높이기 위해서는 개별 방재설비뿐만 아니라 진력설비, 조명설비, 교통관제설비 등이 통합 관리되어 유기적인 시스템으로 구성되어야 한다.

통합 제어 시스템은 방재시설들을 통합제어반에 연결하면 아래와 같은 시스템이 구성되며 상호 open protocol로 통신이 가능하여야 한다,

방재시나리오

개별 방재시스템을 통합 구축하여 구성된 시스템은 단순한 교통 사고시엔 비상전화 등을 활용하여 통보를 하고 대피 및 구조를 하며, 화재가 발생하면 화재감지기나 옥내소화전에 설치된 수동발신기의 누름스위치에 의해 화재발생에 대한 정보를 받아 CCTV로 확인하고 터널내와 외부차량, 그리고 외부기관에 통보하며, 구조 및 소화활동, 교통정리를 하는 일련의 흐름으로 형성된다.

대국민 홍보

유사시 터널이용자들의 재산과 인명의 안전을 위해서는 적절한 설비의 설치와 유지관리가 중요하며 관계기관과의 협조뿐만 아니라 대국민 홍보 교육도 중요하다.

필자가 스위스와 오스트리아를 연결하는 알베르그 터널에서 입수한 팜플렛에는 각 터널의 방재시설과 안전속도, 거리, 화재시 행동요령 등을 홍보하는 내용이라 유사시 유용한 정보라 여겨진다.

그 중 하나의 예를 들면 차를 버리고 떠날 때 key를 차에 놓고 가라고 명기되어 있다.

얼마전 둔내터널에서 작은 화재사고가 있었는데 운전자가 차량의 key를 소유하고 멀리 대피하여 몇 시간 동안 교통체증이 있었던 사례가 있다.

급속하게 터널의 숫자가 증가하고 있으므로 사용하는 이용자에 대한 재산과 생명을 보호하기 위한 홍보의 중요성은 더욱 부각되고 있다.



결론

지하공간에 차량이 통과하는 도로터널의 화재 사례 및 관련 규정, 방재시설과 통합시스템, 그리고 방재시나리오 및 대국민 홍보에 관한 내용을 살펴보았다.

방재시설 계획시 방재관련 규정을 검토하여 우선적으로 반영하는 법규위주의 설계를 주로 하고 있으나, 최근에는 재해발생 빈도와 피해의 강도, 초기 투자비, 유지관리비 등을 고려한 성능위주의 설계를

하기 위한 정량적인 위험도 분석의 시도를 많이 하고 있다.

그러나 방재시설 설계시 무엇보다 우선해야 하는 것은 인명존중사상이라 할 수 있다.

아울러 시설관리자들에게 방재시설 활용과 유지관리에 대한 교육을 하고, 관계기관과의 유기적인 훈련을 하며, 유사시 대피요령 등의 대국민 홍보를 확대하면 보다 안전한 도로터널이 되리라 기대한다. ㉔