

도로터널 구조물 내화설계기준 확립방안에 관한 연구

김홍열 · 신현준 · 유용호 · 김형준*

한국건설기술연구원, (주)종합건축사사무소 광일건축*

An Study on Design Guidelines for Structural Fire Resistance of Road Tunnels

Kim, Heung Youl · Shin, Hyun Jun · Yoo, Yong Ho · Kim, Hyung Jun*

Korea Institute Construction Technology · * Kwang Il Architure Co. Ltd

요 약

A growing number of larger and bigger tunnels are being constructed, along with the continuing enhancement of road design speed, thereby increasing the frequency of vehicles using tunnels. For such reasons, a fire in tunnels may lead to such situations. Gases and heat caused by fires are to be blamed for such disasters, as well as the development of vehicles leads to the construction of large tunnels. Therefore this study is to provide for the safety of public and rescue personnel in the event of a fire within the tunnel system. For these purpose, the tunnel system must be protected from collapse during a specified time period. This study introduced the role of ITA, it is to developed guidelines for techniques and materials to answer these structural requirements and make tunnels and their ancillary structures more resistant to fire damage.

1. 서 론

터널의 건설은 점점 장대화 되어가고 있으며, 도로의 설계속도의 향상에 따른 차량의 사용빈도 또한 증가하고 있는 추세이다. 이러한 상황에서 터널에서의 화재는 대규모 인명손실과 막대한 재산 피해로 귀결되므로 이에 대한 대책이 요구되고 있는 실정이다. 도로터널 화재의 주요요인은 이전에는 발생한 가스와 열이 그 주원인이 되었었지만, 기술의 발달에 따른 대형화와 차량증가 및 화물의 다양화로 인해 차량화재하중의 영향성이 화재의 영역에 포함되었다. 이로 인하여 터

널 내화 설계시 예상되었던 화재모델의 추정치 보다 더 급격한 온도의 변화가 발생하게 되었고, 예상보다 더 오랜 기간 화재가 지속되는 현상이 유발되어 대형 재난 참사 및 천문학적인 복구비용이 파생하게 되었다. 이러한 대형 사고사례로는 [유로터널화재(1996년, 3일 지속), 몽블랑 터널화재(1999년, 53시간 지속), 독일 함부르크 Moorfleet 지하도로(34m PSC 라이닝파괴, 30cm폭렬발생), 스페인 Guadarrama 지하도로(120m길이의 조명 및 제연시설 등 터널설비 파손)]등이 있다. 그러므로 상기의 터널화재사고사례와 같은 심각한 구조적 손상으로 인한 대형인명피해 예방 및 장기적 터널구조물 인프라시설의 화재 후 복구비용 절감을 위해서는 터널건설관련 실무자들에게 국제적인 도로터널 내화설계지침인 ITA의 기준을 토대로 국내현실에 적용할 수 있는 도로터널 내화설계지침을 제공하여야 할 필요성이 제기된다.

2. 연구범위 및 제한사항

최근 국제터널협회(International Tunnelling Association - Working Group 6)에서는 각 나라별로 상이하게 적용하고 있는 터널내화설계 기준 및 지침들의 공통적인 기준항목들을 체계적으로 정리하고, PIARC (Permanent International Association of Road Congresses: 상설국제 도로회의협회)의 지침을 준용하여, 각국의 터널내화설계를 수행함에 있어서 일관성이 있고 통상적으로 적용할 수 있는 터널내화설계 가이드를 제시하고 있다. 따라서 본 연구에서는 국제 터널협회의 지하공간보수 및 유지관리 분과위원회(Working Group-6)에서 정리·추천하고 있는 도로터널 내화설계의 일반적인 설계지침을 국내 실정에 적합한 설계항목으로 정리하여 실제 현장에 적용할 수 있는 실무적 터널내화관련 기술정보를 제시하고자 한다.

3. 도로터널 내화설계 가이드라인

본 장에서는 PIARC가 권고하고 있는 도로터널 내화설계지침을 기본으로 하여 차량유형에 따른 화재하중의 영향을 보다 세분화를 통해 터널구조물의 화재안전 확보를 고려한 PIARC-ITA 지침을 정리하였다.

3.1. 도로터널 제반조건에 따른 화재시나리오 적용기준

국제터널협회(ITA)에서는 PIARC에서 제공한 권고(안)을 근간으로 도로터널의 전형적인 용도와 터널화재의 포괄적 분류방법을 반영할 수 있도록 수정하여 <표

-1>과 같은 차량유형에 따라 <표-2>와 같이 터널단면형상조건에 따른 화재시나리오를 제시하였다.

표-1 차량유형에 따른 터널화재영향조건 분류(ITA)

분류	차량유형
제1유형	승용차에 한하며 중량 차량 제외(HGV)
제2유형	중량 화물차(HGV)
제3유형	유조차

표-2 도로터널 제반조건에 따른 화재시나리오 적용기준(PIARC-ITA)

차량 유형	화재 차량 (대)	주 구조물(터널)				보조 구조물 ³⁾			
		수중 구조물	불안정 지반	안정 지반	개착 식	공기 덕트 ⁴⁾	비상 출구 (실외)	비상출구 (외부터널)	대피소 ⁵⁾
1	1~2	ISO 60분	ISO 60분	1)	1)	ISO 60분	ISO 30분	ISO 60분	ISO 60분
1	3대 이상	ISO 60분	ISO 60분	1)	1)	ISO 60분	ISO 30분	ISO 60분	ISO 60분
2	1~2	RWS/MHC 2시간	RWS/MHC 2시간	2)	2)	ISO 2시간	ISO 30분	RWS/MH C 2시간	RWS/M HC 2시간
2	3대 이상	RWS/MHC	RWS/MHC	2)	2)	ISO 2시간	ISO 30분	RWS/MH C	RWS/M HC
3	1대	3시간	3시간					2시간	2시간

- 1) 안정성 확보를 위한 터널에 적용할 경우, ISO 60분 기준을 적용함.
단, 화재 후 보수 작업이 용이하지 않거나, 과도한 비용이 발생할 경우엔 구조적 내화피복을 적용하지 않을 수 있음.
- 2) 구조적 내화성능을 지속적으로 확보해야 할 필요성이 있는 주요 터널 일경우 RWS/HCinc 120분 화재시나리오 지침적용 (ex. 건물 하부의 터널 혹은 도로 교통통행량이 많은 주요 터널일경우)
- 그러나, 구조적 내화성능에 대한 지속적 유지가 상대적으로 크지 않을 경우 ISO120분 화재조건을 적용함.
- 3) 기타 보조구조물은 설계 프로젝트 별로 정의되어야 하며, 일반적인 터널 보조 구조물일 경우 상기기준을 적용함.
- 4) 공기덕트에 의한 환기방식이 횡단 환기의 경우에 적용함.
- 5) 대피소는 실외와 연결되어야 있는 것을 전제로 함.

3.2 도로터널 내화자재 성능기준

내화자재의 설치시 가장 중요한 내화성능을 확보하기 위해서는 내화보드(또는 뽀칠재 등)와 콘크리트 구조체와의 부착강도를 일정하게 유지하여야 하며, 화재 발생시 발생할 수 있는 유독성가스 방출량 및 시공성·기후저항력 등을 고려한 요구성능이 정립되어야 할 필요성이 있으므로, 이와 관련한 성능기준을 다음과 같이 제시한다.

(1) 설치(부착)강도

차량의 이동으로 인한 구조체의 압력영향기준을 제시하기 위해 다수의 터널에서의 차량운행에 대한 압력 영향성을 측정한 결과 도로터널에서는 약 25MPa, 고속철도터널의 경우 대략 600MPa로 측정되었으므로, 상기의 차량통행으로 인한 압력에 저항 할 수 있는 부착강도로 설치하여야 한다.

(2) 이차적 화재영향 제어성능

차량화재로 인한 터널내부의 온도가 과도하게 상승할 경우 내화자재에서 연기 및 유독가스가 발생할 수 있으므로, 이러한 이차적 화재영향을 제어할 수 있는 자재를 적용하여야 한다.

(3) 인체무해성능

터널내부 구조체에 내화자재를 시공할 경우 인체에 대한 무해성이 검증되어야 하므로, NEN-ISO 14001(친환경 자재)를 획득한 자재를 적용한다.

(4) 시공성능

화재보호자재의 비용 및 품질성능의 확보를 위해 시공손실 최소화·경계수 함유량 조정·패널(보드)부착방법의 표준화가 필요하며, 요구내화성능을 구현시키기 위하여 표준시공방법으로 공사를 수행하여야 한다.

(5) 기후 저항성능(동결저항 & 투수 성능)

기후변화 및 편차가 큰 터널의 경우엔 내화자재의 수분함유량에 따른 내화성능유지 및 동결저항성능을 확보하여야 하며, 공인된 시험기관에서 방화재의 요구조건인 수분함유량 5%미만인 자재를 사용하여 시공하여야 한다.

3.3 도로터널 내화자재 시공방법

터널화재안전을 확보하기 위하여 콘크리트 구조체를 보호하기 위한 다수의 내화자재가 제조되고 있으므로, 각 자재의 표준시공방법에 따라 부착하여 내화성능을 적합하게 발현 할 수 있게 하여야 한다. 그러므로 터널화재 손상범위에 적합한 기준에 의해 <표-3>와 같이 내화자재를 시공 및 고정하여야 한다.

표-3 도로터널 내화자재 유형에 따른 시공/고정방법(ITA)

자재	자재 유형	시공 방법	고정 방법
칼슘 규소 보드	패널	공장 생산 패널	앵커볼트
경량 콘크리트	경량골재	표면에 부착	스프레이/브러시
CIP콘크리트	시멘트	현장 타설	구조체와 결합
CIP콘크리트/섬유	시멘트 및 폴리 섬유	현장 타설	구조체와 결합
슛크리트	시멘트/첨가제	스프레이	스프레이
슛크리트/섬유	시멘트/첨가제/ 폴리 섬유	스프레이	스프레이
광물면	시멘트 매트릭스 내 광물면	스프레이	스프레이
세라믹 내화물	내화물 시멘트/세라믹 혼합	스프레이	스프레이

3.4 도로터널 구조물 한계온도 기준

도로 터널의 화재안전성 확보를 위한 최선의 방법은 터널화재시 유발되는 내부의 열적환경에 의한 구조체로의 열전달(대류·복사·전도)을 제어하여 구조체의 하중지지성능을 유지하는 데 있다. 그러므로 터널화재시 구조체의 성능을 보호하기 위한 내화설계를 수행하기 위해서는 ①터널구조체 구성요소별 한계제한 온도 기준, 화재강도별 한계온도를 기준으로 한 ②터널구조체 화재손상범위, 이러한 손상을 방지할 수 있는 ③내화성능 확보방안에 대한 기술적 자료를 제공하여야 한다.

표-4 도로터널 내화자재 유형에 따른 시공/고정방법(ITA)

구조요소	한계온도(℃)	비고
콘크리트 구조	380	구조 벽, 천정, 칸막이, 현장 타설 콘크리트 등
프리캐스트 콘크리트	200~250	고강도 콘크리트, 프리캐스트 부재
점토 및 규격벽돌	고려치 않음	터널에서는 하중을 지지하는 구조체 역할을 하지 않으므로 고려치 않음
라이닝 매입강재	550	-
라이닝 매입주철	550	-
라이닝 접합조인트	200	-
세라믹 타일	200	폭발성 폭렬에 주의
강빔 주철 구조재,천장행거	550	-
스테인리스 구조재, 천장행거	800	-
에폭시수지앵커	200	온도 200℃의 표면으로부터 6cm 깊이에서 보호되어야 한다
비상구/ 대피소 통로	40	비상구/대피소는 PIARC 지침의 관련규정 및 법규에 의거 통로의 최대 온도가 40℃를 초과하여서는 안 됨.

4. 결 론

도로터널의 화재안전성을 확보하기 위해서는 터널조건에 따른 화재시나리오를 적용하여 내화성능을 평가하고 화재손상범위를 규명하여 터널 구조물의 설계단계에서 내화성능을 확보하여야 한다. 이를 통하여 대중을 위한 안전한 대피공간 및 시간을 확보하고, 소방 및 구난 요원들에게 화재제어 시간을 제공하며, 구조물의 붕괴를 사전에 방지할 수 있다. 화재선진국에서는 이미 지하 구조물 보호에 대한 엄격한 규정을 수립하고 있으며 국제적인 터널 내화설계지침이 제정되는 추세이므로, 도로터널의 화재안전성 확보를 위한 본 지침을 국내현실에 적합하게 수정하여 제시함으로써, 국내 도로터널의 화재안전성 확보를 위한 방재관련 기준을 제안하고자 한다. 이러한 지침들은 기존 터널 및 신설되는 도로(고속도로) 터널 공사의 화재안전 확보를 위한 내화설계를 수행하기 위한 지침 및 기술적 자료를 제공하기 위함이며, 터널건설관련 실무자들에게 화재손상범위에 따른 경제적인 내화성능 확보방법을 선택할 수 있는 정보를 제공할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 국가 R&D과제인 “산학연 C03-03과제”와 관련하여 국토해양부와 한국건설교통기술평가원의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김형준, 한상훈, 최승관 (2007). “화재시 콘크리트요소 폭렬영향성 고찰” 화재소방학회 논문지 Vol.21.NO.2.
2. 김홍열(2002). “고온가열시 콘크리트 역학적 특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집 제8권 제 118호.
3. ITA Working Group No.6(2004), "Guidelines for Structural Fire Resistance for Road Tunnels", International Tunnelling Association.
4. ITA Working Group No.6(2001)," Study of Methods for Repair of Tunnel Linings", International Tunnelling Association.
5. FIT European Thematic Network WP3(2003), "Fire Safe Design Road Tunnel", FIT WP3 Report Version 2.
6. Anderberg Y.(1998), "Fire Engineering Design of Structures Based on Design Guides", 2nd International Conference on Performance-Based Codes & Fire Safety Design Methods on Maui, USA.
7. Niels Peter Hoj.(2004), "Guidlines for fire safety design compared fire safety features for road tunnels", Safe & Reliable Tunnels First International Symposium, Prague.
8. A, Leithner(2001), "The Fire catastrophe in the tauern tunnel : Experience and conclusions for the Austrian guidelines ", Tunnelling and Underground Space Technology 16 217-223.