

터널화재에 대한 내화의 필요성

Needs of Fireproofing for Tunnel



안태송*
Tae-Song Ahn

1. 서 론

국내에서 주로 사용되는 터널형식으로는 NATM(new austrian tunneling method)과 쉴드터널을 들 수 있다. NATM 터널의 경우 슛크리트 라이닝을 터널의 주지보재로 사용하며, 콘크리트 라이닝을 마감재 혹은 구조체로서 가지고 있다. 쉴드 터널의 경우 주요 구조체는 콘크리트 세그먼트 라이닝이 된다. 이러한 터널의 라이닝·콘크리트는 약 20 ~ 40 MPa 정도의 압축강도를 가지고 있다. 건설교통부의 터널 현황조서를 보면 2005년 12월 기준, 우리나라의 도로터널은 817개로서 총 연장 551 km에 달하며, 이중 고속국도의 터널은 354개 연장 262 km 이다. 도로터널은 개소, 연장 및 장대터널의 비율이 급증하고 있으며, 실제 도로터널에서 1 km 이상의 터널은 131개로서 전체의 16%에 달하고 있으며, 그 연장은 227 km로서 41.2%에 이르고 있다. 기존의 터널이 비교적 짧은 터널임을 감안하면, 최근에 시공되는 터널은 대부분 장대터널로서 화재발생시 피해가 커질 수 있다.

특히, 트럭, 유조차, 폭발물 탑재 차량 등 운반물의 다양화와 터널 통과 차량의 대형화, 터널내 차량충돌 사고 빈발 등 터널 내부에서 대형화재의 위험성이 급증하고 있어 더욱 내화의 필요성이 요구된다.

본 고에서는 터널의 화재사례 및 특성, 화재시 콘크리트의 손상과 이에 따른 대응방안 등으로서 내화의 필요성을 검토해 보고자 한다.

2. 터널 화재 사례

최근 국내·외에서 터널내 화재가 많이 보고되고 있다. 여러

형식의 구조물 중에서 터널 구조물의 경우 지중에 시공되어져 공간이 폐쇄되어 있으므로 화재발생시 진압, 대피 등이 어려워 피해가 커지게 되는 경향이 있다. 또한 화재 후의 보수나 보강 시에는 터널을 이용하는데 어려움이 따라서 2차적인 손실을 볼 수 있다. 특히, 2차 라이닝을 생략하는 쉴드터널의 경우나 수중에 시공되는 침매터널의 경우 화재발생시 더욱 불리한 조건이 된다.

우리나라의 터널 화재는 옥천 4터널, 홍지문 터널, 달성 터널 등 많이 발생하였다. 다행스럽게도 유럽의 경우와 같이 대형 참사는 발생하지 않았으나, 항상 대형 화재의 위험은 도사리고 있다.

구마고속도로 달성터널의 경우, 2005년 미사일 추진체를 운반하던 차량에 화재가 발생하여 미사일 추진체가 폭발하는 사고가 발생하였다. 다행히 인명피해는 없었으나, 미사일 추진체는 폭연으로 수백 m까지 날아간 것으로 드러났다(사진 1, 2). 이처럼 우리나라는 터널내 화재를 대비하여 터널을 출입하는 차량에 대한 제한이 없고, 구조물 내화에 대한 대책이 없어 언제 어디서 대형 참사가 발생할 지 알 수 없는 상황이다. 도로터널은 아니지만 2003년 대구지하철에서 발생한 화재 참사는 화재에 대한 대비를 소홀히 할 수 없음을 시사한다. 이 화재로 인하여 일부 구간에서는 고온에 의한 피복 콘크리트의 폭열로 인하여 주 인장철근이 완전히 노출되어 내하력이 현저히 떨어진 경우도 있었다.

해외의 경우에 있어 일본의 니혼자카 터널에서 발생한 화재는 7일간 지속되었으며, 복구에 60일이 소요되었다. 이로 인해 사망 7명, 부상 2명의 인명피해가 발생하였으며, 터널내의 온도는 1,300℃까지 상승한 것으로 추정하고 있다. 또한, 약 600 m 구간의 콘크리트가 20 cm 전후로 약 96% 이상 박리되었으며, 총 피해액은 34억엔에 이르며, 터널폐쇄로 인한 통행료 손실은 33억엔에 이르는 것으로 보고되고 있다.

프랑스와 이탈리아를 연결하는 몽블랑터널은 화재로 인해 약

* 정희원, 한국도로공사도로교통기술원 수석연구원
conc@freeway.co.kr



사진 1. 달성터널 화재 발생 당시



사진 2. 달성터널 화재 발생 후

900 m 구간의 터널 구조물이 손상되었으며 39명의 사망자와 33대의 차량이 화재에 의해서 전소되는 대형 피해가 발생했다.

오스트리아의 타우에른 터널 화재에서는 15 cm 두께의 철근 콘크리트 바닥판이 손상을 입고 박락되어 350 m 구간을 철거 보수하여야 했다. 측벽부의 라이닝 콘크리트는 약 100m 구간에서 깊이 40 cm, 그 외의 400 m 구간에서 깊이 5 cm의 박리가 발생하여 철근이 노출되었다. 또한, 약 300 m 구간의 콘크리트 포장에 손상이 있었다. 이 사고로 인해 3개월간 터널 이용이 불가했으며, 보수비로 820만유로, 통행료 손실 650만 유로가 소요되었다.

3. 터널화재에 대한 선진국의 연구동향

유럽의 경우, 독일 주도하의 EUREKA 프로젝트를 시작으로 유럽 위원회(European Commission)의 재정지원으로 이루어진 FIT(fires in tunnels), DARTS(durable and reliable tunnels structures), UPTUN(cost-effective, sustainable and innovative upgrading methods for fire safety in existing tunnels) 등의 종합적 프로젝트가 2001년부터 수행되어 통합 유럽의 터널 화

재에 관한 가이드라인을 만들고 있다. 이와 같이 유럽을 중심으로 터널 선진국에서는 터널 건설의 신기술 개발뿐 아니라 터널의 내화에 대한 연구 및 연구 결과의 현장 적용에 심혈을 기울이고 있으며, 지속적으로 수행하고 있다.

한편, 일본 또한 유럽과 같이 터널이 많은 지역이기 때문에 터널 안전에 대한 관심이 높다. 따라서, 일본에서도 터널 화재 사례와 실험실험을 통하여 구체적인 터널 구조물 내화 설계 방안을 제안하고 있으며, 2002년도에는 콘크리트 구조물의 내화안전성 연구위원회에서 터널의 내화설계와 지침(안)을 작성하였다.

4. 터널 화재의 특성

터널에서 발생하는 화재의 최고온도와 최고온도 도달시간, 지속시간 등은 화재의 상황에 따라 크게 달라지지만 <그림 1>과 같이 터널 화재시 시간-온도와의 관계를 나타내는 기준으로 나눌 수 있다.

<그림 1>에서 RABT 화재 시간-온도곡선은 독일의 도로터널 설비 및 운용에 관한 지침으로서, 화재 발생 후 5분만에 1,200℃까지 온도가 급상승하여 60분간 지속된다. RWS(rijkswaterstaat)는 네델란드 운송공공사업부의 터널 화재 시간-온도곡선으로서 45,000 l급 대형 탱크로리의 유류화재시를 상정한 것으로서 화재발생후 60분만에 최고온도가 1,350℃에 달하는 가장 엄격한 규정이다.

<그림 1>의 화재 시간-온도 곡선으로부터 다음과 같은 특징이 있음을 알 수 있다. 터널의 화재는 발생 후 약 5분만에 최고 온도 부근까지 급격히 온도가 상승하며, 화재의 지속시간은 대부분 120분 이상으로 간주된다. 또한, 대형 트레일러 혹은 탱크로리의 경우 최고온도가 1,000℃를 넘어 화재물질에 따라 1,200~1,300℃까지 도달할 수 있다.

이와 같이 터널에서 화재가 발생할 경우 콘크리트 표면부의

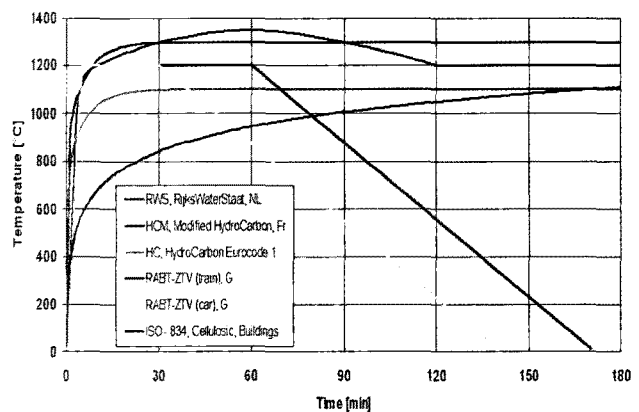


그림 1. 화재시 시간-온도 곡선

박리·박락 및 폭열은 물론 압축강도의 저하가 현저히 나타날 것으로 예상되며, 해외 화재사례에서도 구조물 손상이 많이 보고되고 있다. 이러한 터널내 라이닝 콘크리트의 손상은 터널 화재시 콘크리트 파편에 의한 직접적인 피해 및 차량 및 이용자의 대피로 차단 등 화재에 의한 피해를 크게 높일 수 있다.

그러나, 현실적으로 터널에서 발생하는 화재의 규모를 정확히 산정해내기는 많은 어려움이 따른다. 구조물과 화재의 특성상 작은 규모의 mock-up 시험에서는 실제 터널화재를 모사하기에 어려워 사용 터널에서의 실제 화재발생으로부터 추정하는 방법과 실제 터널에서 모의실험을 통해서만이 화재의 규모를 산정하기 때문이다. 이러한 어려움과 함께 터널 내화에 대한 연구가 활발하지 못하여 아직까지 우리나라에서는 터널 화재에 대한 적합한 시간-온도 곡선을 규정하지 못하고 있는 것으로 아쉬운 일이다.

5. 도로터널의 내화 기준

국내 터널관련 기준으로서 건설교통부에서 발행한 도로설계기준, 터널설계기준을 들 수 있으며, 지방서로서는 터널표준시방서, 지침으로서 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 편람으로서 도로설계편람이 있다. 터널에 관한 내화는 주로 방재시설에 관한 내용이며, 콘크리트 구조물의 화재에 대한 내화를 다루는 것은 미흡한 실정이다.

다만, 콘크리트 구조설계기준에서는 화열의 온도, 지속시간, 사용골재의 성질 등을 고려하여 콘크리트 피복두께를 결정하여야 하며, 슬래브의 경우 30 mm 이상, 기둥 및 보의 경우는 50 mm 이상 피복두께를 확보하여야 한다고 규정하고 있다. 이렇듯 국내에서는 화재에 따른 내화기준이나 지침이 미흡하며, 더욱이 터널 화재시 구조물에 대한 전문적인 내화기준 및 대책은 전무한 실정이다.

6. 맺음말

이전까지 콘크리트는 불연재로 콘크리트 구조물 자체가 내화 구조라고 생각되어져 왔다. 그러나, 유럽의 터널화재 사고 및 실험 화재실험에서 콘크리트 라이닝에 큰 피해가 발생하는 것으로 확인되었다.

도로터널의 구조물에 대한 내화는 화재에 의한 터널 내부 콘크리트의 손상을 방지하여 터널 이용자의 안전한 피난 확보 및 소방대원의 소화활동이 원활히 이루어질 수 있는 환경을 만들어 주기 위해서 필요하다. 아울러 터널 붕괴에 의한 2차적인 재해를 예방하고, 터널 구조물의 복원에 소요되는 시간과 교통 차단 및 복구비 등에 따른 경제적 손실을 최소화하는 역할을 할 수 있을 것으로 사료된다.

유럽과 일본 등 선진국에서는 터널의 방재에 대한 연구와 연구결과의 현장 적용에 심혈을 기울이고 있다. 그러나, 우리나라에서도 도로터널 내에서 항상 대형화재의 위험성이 도사리고 있음에도 불구하고 터널 내 화재에 의한 콘크리트의 박리·박락 및 폭열 등 구조물 손상에 대한 내화 기준이 미흡하여 관련 기준 정립이 시급하다고 할 수 있다. 다만, 내화관련 기준은 국외 기준과 국내 상황 적합성 여부를 충분히 검증하여 적용하여야 할 것으로 사료된다. □

참고문헌

1. 도로교량 및 터널 현황 조서, 건설교통부, 2006, pp. 1379 ~ 1381.
2. "Safe and Reliable Tunnels. Innovative European Achievements", *Proceedings of the first International Symposium*, Czech Republic, 2004, pp. 3 ~ 4.
3. 日本コンクリート工學協會, "コンクリート構造物の火災 安全性研究 委員會 報告書", 2002, pp. 196 ~ 230.

도서소개



콘크리트 구조물 유지관리

저 자 : 이진용, 박윤제 / 출판사 : 구미서관
 발행일 : 2006년 07월 25일
 총쪽수 : 234 쪽 (판형 : B5)
 ISBN : 89-8225-558-3
 정 가 : 15,000원

이 책은 콘크리트 구조물의 노후화로 인해서 장기적인 내구성 저하로 나타나는 열화현상을 중심으로 콘크리트 구조물의 열화현상 및 정도를 파악하는 방법을 구분하였으며, 비파괴 시험 및 파괴시험을 통해서 구조물의 파손정도에 등급을 부여하는 방법을 정리하였다. 또한 현재 국내에서 많이 사용하고 있는 건설신기술을 소개하고 일부 사례를 제시해 현장에 근무하는 실무자들의 지침서로 유용할 것이다.