

# 국내외 터널화재 사례 소개



**심재원**  
Jae-Won Shim  
도로교통연구원



**김낙영**  
Nag-Young Kim  
도로교통연구원

## 1. 터널화재 현황

최근 국내·외에서 터널내 화재가 많이 보고되고 있다. 다음 그림 1.1은 도로터널화재 사고에 대한 현황이고 표 1.1은 터널내 화재사고 원인에 대한 분석내용이다.

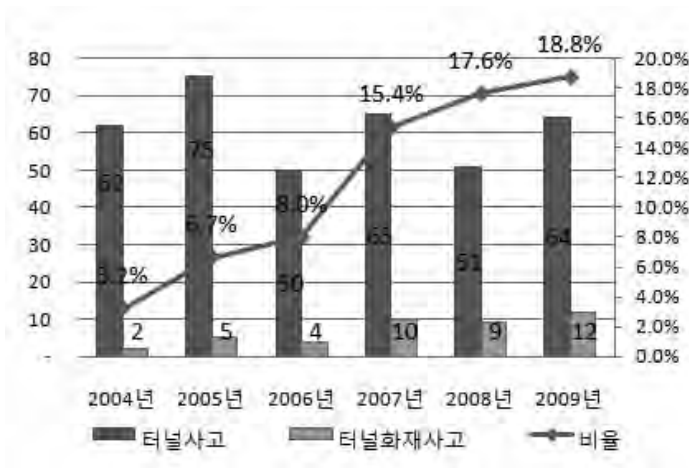


그림 1.1 도로터널 내 화재사고 비율

표 1.1 터널내 화재사고 원인

분석항목		분석결과
화재 규모	화재원인 발화위치 차종 화재강도	<ul style="list-style-type: none"> <li>차량결함 : 73%</li> <li>엔진룸 : 90%</li> <li>승용차 54%, 화물차(버스) 30%</li> <li>평균화재강도 6.3MW (승용차 화재강도의 약 3배)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 터널방재시설 설계화재강도 : 20MW</li> <li>※ 해외 설계화재강도 : 50~100MW</li> <li>※ 1MW=860Mcal/h (물 8.6톤을 1시간동안 0℃에서 100℃로 올릴 수 있는 열량)</li> </ul> </li> </ul>
	터널연장 계절별	<ul style="list-style-type: none"> <li>장터널(1,000m이상) 화재사고 많음 (57%)</li> <li>여름, 가을철 사고 다발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 여름철 33%, 가을철 30% (엔진과열, 행락차량 등)</li> </ul> </li> </ul>
	날씨	<ul style="list-style-type: none"> <li>눈,비 등과 크게 관련 없음</li> <li>- 연평균 강우일수 25%, 비 오는날 화재 13%</li> </ul>
	요일 시간대	<ul style="list-style-type: none"> <li>주말에 많이 발생 : 토·일요일 37%</li> <li>기온이 높은 주간에 많이 발생                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 12~15시 사이 9건(30%) 발생(차량결함)</li> </ul> </li> </ul>

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 보강시에는 터널을 이용하는데 어려움이 따라서 2차적인 손실을 볼 수 있다.

## 2. 터널화재 사고현황

### 2.1 터널 화재사고 사례

#### 1) 우리나라 터널화재

우리나라는 터널 화재는 표 2.1의 주요 화재사례에서 보듯이 많이 발생하였다. 다행스럽게도 유럽의 경우와 같이 대형 참사는 발생하지 않았으나, 항상 대형 화재의 위험은 도사리고 있다. 2005년 구마고속도로 달성터널의 경우 미사일 추진체를 운반하던 차량에 화재가 발생하여 미사일 추진체가 폭발하는 사고가 발생하였다(사진 2.1). 다행히 인명피해는 없었다.

이처럼 우리나라는 터널내 화재를 대비하여 터널을 출입하는 차량에 대한 제한이 없고, 구조물 내 화에 대한 대책이 없어 언제 어디서 대형 참사가 발생할 지 알 수 없는 상황이다.

표 2.1 우리나라 터널의 주요 화재 사례

발생장소	터널명	발생년도	화재 사고 개요
서울	남산3호터널	1999	승용차 터널입구 매표소 추돌(사망 1명)
부산	장지터널	2001	승용차 터널입구 추돌(사망 1명, 중산 4명)
서해안고속도로	무안3터널	2002	승용차 터널입구 추돌(사망 2명)
영동고속도로	마성터널	2001	관광버스 등 11중 추돌(부상 100여명)
서울	남산호터널	2002	버스화재
경부고속도로	옥천4터널	2003	화물트럭 화재, 차량 10중 추돌
서울내부순환로	홍지문터널	2003	미니버스와 승용차 추돌
경부고속도로	옥천3터널	2003	6중 추돌(부상 10여명)
대전내부순환로	안영2터널	2003	화물차 적재물 낙하, 6중 추돌(부상 10여명)
서울	월드컵터널	2003	승용차 터널입구 추돌(사망 1명)
대구	지하철중앙로역	2003	객차 방화, 상부 슬래브 평균 10cm 파손, 최소 1,000℃이상 고온 발생 추정
구마고속도로	달성터널	2005	미사일추진체 운반차량 화재(추진체 고체연료 폭발)



사진 2.1(a) 달성터널 화재 발생 당시



사진 2.1(b) 달성터널 화재 발생 후



사진 2.2(a) 문수산터널(2009년)



사진 2.2(b) 청계산터널(2009년)

## 2) 대구 지하철 중앙로역 화재

도로터널은 아니지만 2003년 대구지하철에서 발생한 화재 참사는 화재에 대한 대비를 소홀히 할 수 없음을 시사한다. 이 화재로 인하여 일부 구간에서는 고온에 의한 피복 콘크리트의 폭렬로 인하여 주 인장철근이 완전히 노출되어 내하력이 현저히 떨어진 경우도 있었다.

### ① 중앙로 정거장 개요

위치	대구광역시 중앙로 네거리
설계 및 감리자	한양종합건축
도급자	(주) 한양
공사비	3,131백만원
공사기간	1994. 1. 17. ~ 1997. 8. 30
승강장 형태	상대식
승강장 길이	149m
토목공사공법	개착식
주요수직동선	계단
승, 하차 인원	1일 161,776명, peak/h 16,529명
규모	지하 1, 2층 대합실, 지하 3층 승강장
면적	대합실 8,395m <sup>2</sup> , 승강장 1,605m <sup>2</sup> , 기타 398m <sup>2</sup>



사진 2.3 중앙로 역 대합실 전경



사진 2.4 중앙로 역 승강장 전경



사진 2.5 중앙로 역 화재피해 현장

### ② 정거장의 마감 재료

중앙로 정거장 내부를 바닥, 기둥, 벽 및 천정으로 구분하며, 대합실 및 승강장의 바닥재는 화강석, 기둥 및 벽재는 자기질 타일이며 천정재는 칼라알미늄 아연도강판으로 설계되었다.

### ③ 화재 사고 개요 및 피해상황

화재 사고는 2003년 2월 18일 화요일 오전 09시 55분 대구 지하철 중앙로 역 전동차 내에서 발생하였다.

열차화재 사고에 따른 대합실 및 승강장의 콘크리트 구조물(기둥, 슬래브, 보...등)의 피해는 사진 2.5와 같다.

대구 지하철 역을 폐허로 만든 것은 고열과 연기였다. 특히 화재로 발생한 열출력은 100MW에 달할 것으로 추정되며 이 열 출력은 자동차 20대가 한꺼번에 전소하는 열량에 해당되는 것으로 승강장 천장 및 바닥의 콘크리트는 크게 손상을 입었다.

## 2.2 해외 화재 사례

표 2.2는 해외에서 주요 터널 화재사고의 보수·보강 기간과 피해액을 나타낸 것이다. 터널의 길이가 길고 교통량이 많을수록 보수·보강에 필요한 기간은 길어진다. 1999년 몽블랑 터널화재 이전에는 많은 사람들이 현대의 터널 화재에 대한 충분한 안전을 확보하고 있다고 생각하였으나 몽블랑 터널화재는 39명의 사망자를 냈고 이것은 사람들에게 터널 화재의 심각성을 일깨워 주었다.

몽블랑 터널화재가 발생한 후 직후, 오스트리아의 타우른 터널에서 차량충돌에 의해 12명의 사망자가 발생하였고 오스트리아의 카프룬에서 150명의 사망자가 발생하였다. 이러한 사고 이후 계속되는 유럽의 터널 화재안전에 대한 노력에도 불구하고 스위스 고타드터널에서 화재규모가 100MW 이상으로 평가되는 대형 터널화재가 발생하였으며, 11명의 희생자가 발생하였다.

표1.2 해외 주요 터널화재 사고현황

터널명	화재발생년도	보수·보강 기간	피해액
니혼자카터널	1979년	2개월	3천3백만 US\$
영불해협터널 (유로터널)	1996년	6개월	3억5천만 US\$
몽블랑 터널	1999년	3년	복구비용 820만 유로 통행료 손실 650만 유로
타우른 터널	1999년	3개월	6백만 US\$ (복구비용)
Gottard 터널	2001년	2개월	2천5백만 US\$ (복구비용)

### 1) 니혼자카(日本坂) 터널 화재

니혼자카터널은 고속도로상의 연장 2,005m 터널로 1969년 2월에 개통하여 1979년 7월 전복된 유조차에서 화재가 발생하여 7일간 화재가 지속되는 대형참사가 발생하여 60일 만에 복구가 완료되었다. 화재는 출구 400m지점에서 대형화물차 4대와 승용차 2대가 충돌하여 발생하였다. 이로 인해 인명피해는 사망 7명, 부상 2명의 인명피해가 발생하였으며, 터널내의 온도는 1,300℃까지 상승한 것으로 추정하고 있다.

화재로 인한 구조물 피해는 약 600m 구간의 콘크리트가 20cm전후로 약 96% 이상 박리되었으며, 터널내 시설은 거의 전소되었다. 총 피해액은 34억엔에 이르며, 터널폐쇄로 인한 통행료 손실은 33억엔에 이르는 것으로 보고되고 있다.

### 2) 유로(Channel) 터널 화재

유로터널은 총연장 50.45km, 해저구간 38km, 해저깊이 45m의 대형 해저터널로서 영국과 프랑스를 연결하고 있다. 화재는 1996년 11월 프랑스쪽 19km 지점에서 대형 화물열차에서 시작되었다. 이 사고로 모두 34명이 짙은 연기와 어둠 속에서 갇혀있었으나, 다행히 인명피해는 없었다. 그러나, 화재로 인해 40cm 두께의 철근 콘크리트 라이닝이 50m 구간에서 심한 손상을 입었으며, 일부 구간에서는 2cm 정도 두께의 라이닝만 남아 있었다.

### 3) 몽블랑(Mont Blanc) 터널 화재

몽블랑 터널은 프랑스와 이탈리아를 연결하는 산악터널로 연장 11.6km에 달하며 1965년 개통하였다. 화재의 발생은 1999년 3월 프랑스측 입구로부터 6.7km되는 지점에서 마가린(9ton)과 밀가루(12ton)를 실은 화물차에서 자연발화로 화재가 발생하였으며 53시간동안 화재가 지속되었다.

화재로 인해 약 900m구간의 터널 구조물이 손상되었으며 39명의 사망자와 33대의 차량이 화재에 의해서 전소되는 대형 피해가 발생했다. 평균화재 규모는 30 ~ 50MW(최대 75 ~ 100 MW)정도로 추정하고 있다.



사진 2.6 몽블랑터널 화재



사진 2.7 고타드터널 화재

### 4) 고타드(Gotthard) 터널 화재

고타드 터널은 1990년 개통된 16.918km의 터널이다. 고타드 터널에서는 수차례의 화재가 발생하였지만, 2001년 이전에 발생한 화재상황에서는 기존의 방재시스템이 적절하게 가동되었으며 희생자가 발생하지 않았으나, 2001년 10월 24일 대형참사가 발생하게 되었다. 2001년 10월 2대의 화물 차량이 정면충돌하여 발생하였으며, 그 중 한 대는 타이어를 적재한 차량으로 연료가 유출된 상태에서 주 배터리의 단락으로 인해 점화되어 화재가 급속도로 확산되었다. 화재규모는 100MW이상으로 평가되었으며, 11명의 희생자가 발생하였다.

### 5) 타우에른(Tauern) 터널 화재

타우에른 터널은 길이 6.4km의 고속도로상 터널로서 트럭이 정차해 있는 승용차를 추돌하면서 연료탱크가 터지고 화물로 실려 있던 스프레이 캔이 폭발하면서 화재가 발생하였다. 이 사고로 1명이 사망하였으며, 15cm 두께의 철근콘크리트 바닥판이 손상을 입고 박락되어 350m 구간을 철거 보수하여야 했다. 측벽부의 라이닝 콘크리트는 약 100m 구간에서 깊이 40cm, 그 외의 400m 구간에서 깊이 5cm의 박리가 발생하여 철근이 노출되었다. 또한, 약 300m 구간의 콘크리트 포장이 손상되었다. 이 사고로 인해 3개월간 터널 이용이 불가했으며, 보수비로 820만 유로, 통행료 손실 650만 유로가 소요되었다.

### 6) 노르웨이 오슬로의 Ekeberg 터널 버스화재

오슬로의 Ekeberg 터널은 1995년에 개통되었으며, 이 터널에서 1996년 8월 21일 트레일 버스에 의해 약 35분간 지속되었던 화재는 1,100℃가 넘는 높은 온도로 약 5분 동안 최대 35MW로 열기 효과를 내었다고 조사되었다. 터널내의 설비시설들이 좋은 탓으로 콘크리트 구조물의 피해, 확산을 막았으며 손상 복구가 신속하게 이루어졌다.

벽체와 터널 천정의 슛크리트는 60mm 정도의 두께로서 외관상으로는 화재에 잘 견디는 것으로 파악되었다. 슛크리트의 손상조사 결과, 시료의 표면이 350℃ 정도를 나타내는 색깔층을 보였으며, 이는 화재구역의 콘크리트 표면 온도가 약 300-400℃ 정도임을 알 수 있다.

Ekeberg 터널 내에서 비슷한 상황이 벌어질 때를 대비하여, 비상 대책반과 응급 처리 서비스와 관련된 사항들을 점검 및 보완대책을 수립하였을 뿐만 아니라 건설, 환기, 통풍 후드, 도로 교통 시스템 및 비상 연락 시스템과 관련된 기술들에 대한 정보를 확보하였다.

특히, Ekeberg 터널은 엄격한 계획에 따라 설계, 건설되었음에도 불구하고 발생한 버스 화재 사고의 경험에서 얻은 교훈을 토대로 터널 설계 및 운용체제와 관련하여 개선해야 할 좋은 사례를 제공하였다고 평가되었다.

### 7) 터널 구조물의 화재 발생 현황

그림 2.1은 1990~2000년까지 일본의 터널에서 발생한 화재사고 건수를 도로터널과 철도터널을 분류하여 나타낸 것이다. 그림에서 보면 도로터널내 화재가 전체 터널 화재의 대부분을 차지하고 있으며 매년 화재사고가 증가 추세에 있다는 것을 확인할 수 있다.

표 2.3은 일본 도로 터널에서 발생한 화재 사건의 차종·원인별 화재발생 상황을 나타낸 것이고, 표 2.4는 터널 연장에 따른 화재사고 발생빈도를 나타낸 것이다.

표 2.3의 가장 큰 화재 원인으로는 차량 간의 충돌과 배기관 접촉 및 전기배선인 것으로 나타났고, 표 2.4에서는 터널의 길이가 길수록 터널 개소에 비하여 화재발생 건수가 많음을 나타내었다.



따라서 도로터널의 길이가 긴 경우에는 터널 내 화재에 대비한 기술적 대응이 더욱 시급하다는 것을 알 수 있다.

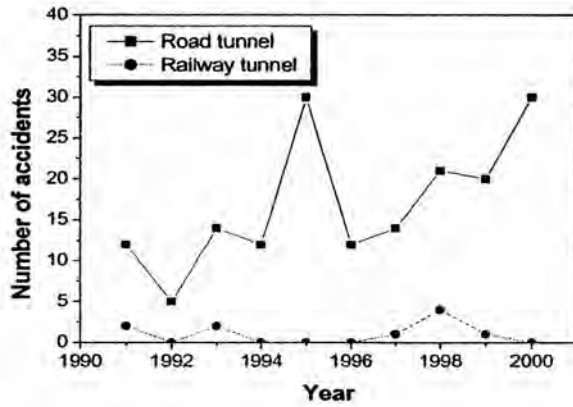


그림 2.1 일본에서의 터널 화재 발생 건수

표 2.3 일본 도로터널에서의 차종 원인별 화재발생 상황 (1977~1994)

차종	배기관 접촉	충돌	전기배선 관계	연료 누수	연초	브레이크 과열	기타	불명	계
트럭류	22	5	6	7	10	3	19	7	79
승용차	4	16	15	8	-	-	10	4	57
이륜차	-	3	1	2	-	-	-	-	6
불명	-	1	1	-	1	-	1	-	4
계	26	25	23	17	11	3	30	11	146

표 2.4 일본 터널 연장에 따른 화재사고 발생빈도

연장	터널 개수	건수	건수/(연수 · 터널개수)
2km	-	100	-
2~3km	80	16	0.0105
3~4km	37	7	0.01
4km	16	23	0.076

국내에서 주로 사용되는 터널형식으로는 NATM(New Austrian Tunneling Method)과 쉴드터널을 들 수 있다. NATM터널의 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 551km에 달하며, 이중 고속국도의 터널은 354개 연장 262km이다. 도로터널은 개소, 연장 및 장대터널 비율 급증하고 있으며, 실제 도로터널에서 1km 이상의 터널은 131개로서 전체의 16%에 달하고 있으며, 그 연장은 227km로서 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.

#### 8) 화재사례 분석

이전까지 콘크리트는 불연재로 콘크리트 구조물 자체가 내화구조라고 생각되어져 왔다. 그러나, 유럽의 터널화재 사고 및 실물 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 교통차단 및 복구비 등에 따른 경제적 손실을 최소화하는 역할을 할 수 있을 것으로 사료된다.

유럽과 일본 등 선진국에서 뿐만 아니라 우리나라에서도 터널의 방재에 대한 연구와 연구결과의 현장 적용에 심혈을 기울이고 있다.

## 참고문헌

1. 본콘크리&#12540;ト工學協會, “콘크리&#12540;ト構造物の火災安全性研究委員會 報告書”, 2003
2. 이성민,오상직, 박장현, “대구지하철 중앙로역사 화재 복구공사 사례보고”, 대한토목학회지, 제 52권 제4호 통권 제288호, 2004