

터널사고 조사연구

유지오 · 김윤선* · 김치경* · 이동호*

신홍대학 건축설비과 · *인천대학교 안전공학과

1. 서론

터널은 반 밀폐공간 및 대피방법의 단일성이라는 점에서 일반도로가 갖는 위험요소보다 더 많은 위험요소를 내포한다. 특히 터널화재 시 발생하는 화재발화가스 인하여 가시거리의 미확보, 유독성가스의 확산 및 급격한 온도상승, 산소농도의 감소를 초래함으로써 화재현장까지 화재진화를 위한 소방대의 접근을 어렵게 한다. 이러한 터널 화재는 승객의 인명피해는 물론 터널구조물 및 각종설비의 손실을 유발시킨다. 터널화재는 결과적으로 장시간 통행 불능상태로부터 경제적 피해를 야기 시킨다.^{2,3,4,5)} 본 연구에서는 최근 터널 화재사고에 대한 분석 및 도로터널에서 안전을 확보하기 위한 최근의 기술 및 설계 기준, 방재시설의 운영현황에 대한 조사·분석을 수행하여 터널화재를 예방하고 화재로 인한 인명 및 재산피해를 최소화하기 위한 터널 설계 기준 정립을 목표로 한다.

2. 국내터널 화재사고

터널안전의 근원적 확보를 위하여 터널사고 현황 및 터널의 사고사례에 대한 국외의 통계자료를 대상으로 분석을 수행하였다. Table 1은 2003년 6월 현재 공용중인 국내의 터널현황을 터널길이 및 도로구분으로 정리한 것을 나타낸다. 전체터널 중 고속도로 터널은 47%, 일반국도는 22%의 점유율로 나타났다. 또한 1000 m 이상의 길이를 갖는 터널은 전체의 14%로 나타났으며, 이중 고속도로 37% , 국도 10%, 특별시 및 광역시 28.4%의 분포로 나타났다. 이상과 같이 교통량이 많은 특별시 또는 광역시에 터널연장이 길어 위험도가 높을 것으로 예상되는 1,000 m이상의 터널이 많이 분포하고 있는 것을 알 수 있다. Table 2 의 국내 터널관련 사고사례(1)로 부터 조사대상 14건중 터널관련 사고는 터널입구부 충돌사고 5건(35.7%), 추돌사고 4건(28.6%)%, 화재사고 5건(35.7%)으로 보고되었다. 또한 총 5건의 터널내 화재사고중 3건(60%)이 소형차에서 발생하였으며, 나머지 2건(40%)은 버스와 트럭에서 발생하였다.

3. 국외 터널 화재사고

국외터널 화재사고의 분석은 PIARC^{7,8)}, OECD^{14,19)}, 프랑스¹¹⁾, 노르웨이⁹⁾, 독일(STUVA)¹⁰⁾ 등의 외국자료를 중심으로 수행하였다. 본 화재사고분석은 일반적인 사고(차량고장 사고, 화재를 유발하지 않은 사고)는 분석대상에서 제외시켰다. 또한, PIARC자료를 기초로 하여 도시터널과 자동

차전용도로(Motorway), 양방향터널로 구분하여 분석을 수행하였다. 화재사고는 도시터널, 고속도로터널, 양방향터널에 대한 터널제원 및 $10^8 \text{veh} \cdot \text{km}$ 당 차량고장건수를 중심으로 각국의 주요 터널을 대상으로 조사기간 3~4년간의 통계자료의 분석 결과 터널의 통행방식 및 사고 발생율에 대해 정리하여 Table 3에 나타낸다.

Table. 1 국내 터널현황

도로구분 (m)	500	500	1000	1500	2000	계	
	미만	- 1000	- 1500	- 2000	이상		
고속도로	119	113	18	10	12	272	47%
일반국도	70	53	2	6	0	131	22%
특별.광역시	58	21	6	13	4	102	17%
국가지원 지방도	6	7	0	1	0	14	2%
지방도	16	7	2	1	2	28	5%
시군도	22	10	2	2	0	36	6%
계	291	211	30	33	18	583	-
	50%	36%	5%	6%	3%	-	-

Table. 2 국내 터널 화재사고

터널	연장	tube xLane	사고 일자	피해현 황
둔내	3300	2x2	00.6.24	3시간 차량정체
다부	1041	2x2	01.3.11	-
남산 1호	1530	2x2	02.12.15	피해 없음
옥천4	874	2x2	03.2.10	차량 10대
홍지문	1890	2x3	03.6.6	2시간40 분통제

Table. 3 터널의 통행방식에 따른 사고발생율

구분	고장 사고	사고	인명피해발 생건수	상해자수	사망 자수	화재발생건 수
도시 터널	102	91	26	57	3	8
고속도로터널	324	52	17	17	6	8
양방향 터널	578	73	21	12	1	9

Table 3으로 정리된 터널의 통행방식에 따른 사고발생율은 도시터널과 고속도로 터널이 거의 비슷한 경향을 나타내며, 양방향 터널이 다소 높은 사고발생율을 나타내고 있음을 알수 있다. 그러나, 화재사고 건수에 대한 편차는 그다지 크지 않은 것으로 나타났다. Gotthard 터널에서 1992에서 1998년까지 조사된 자료에 의하면 이 기간 동안 42건의 차량화재 사고가 발생하였으며, 이중 승용차 21건, 버스 7건, 탱크로리차 14건으로 나타났다. 이는 $10^8 \text{veh} \cdot \text{km}$ 당 45건의 화재사고가 발생한 것으로 의미하며, 2000년에 발생한 화재사고 이전에는 대형참사는 없었던 것으로 보고되고 있다.

또한 몽브랑 터널에서는 1965년 운영되기 시작한 이래로 17건의 화재사고가 발생했으며, 이중 12건은 소화기에 의해서 진화된 반면에 5건의 사고에서는 소방대가 출동하여 화재가 진화된 것으로 보고되고 있다. 이러한 발생건 확률은 56년에 1건 정도의 대형화재사고가 발생한 것을 의미하며, 5건의 화재사고 모두 트럭에 의해서 발생하였다. 터널진입시 화재가 관측되지 않았고, 화재트럭이 정지된 다음에 비로소 화재의 감지가 이루어지고 있으며, 화재시 터널내 화재지점의 풍속은 아주 작았으나 열기류의 성층화에 대한 보고는 없는 것으로 보고되고 있다.

독일의 STUVA의 연구결과에 의하면 도로터널에서 발생한 화재중 약 62%(연구 대상 29건중 18건)가 차량결함에 의하며, 약 34%는 차량충돌에 의해서 발생하는 것으로 보고하고 있으며, 다수의 연구결과에서 화재사고의 대부분이 운전자나 차량유지관리의 문제로 인해서 발생하는 것으로 보고하고 있다.

또한 터널에서 화재가 발생하면 연기에 의해 시야확보가 곤란하여 대형참사가 발생하는 것으로 보고하고 있으며, 29건의 화재사고 중에서 12건이 시야확보가 곤란했던 것으로 보고되고 있다. 이와 같이 시야확보가 곤란했던 원인으로 배연 또는 제연시설용량이 부족하고 화재시 운영미숙(29건중 14건)으로 나타났다.

3.1 화재 원인

본 연구에서는 PIARC 보고서 및 외국의 터널화재에 대한 자료를 대상으로 하였으며 분화재분석 건수는 총 42건으로 나타낸다.

화재사고의 화재원인은 Table 4로 정리하여 나타났다. 화재는 차량의 충돌(전체 36건중 14건 : 45%, 미확인은 제외)이 화재사고의 가장 큰 원인으로 나타났다. 이중 차량 고장과 관련된 사고는 엔진관련 : 15건, 브레이크 파열 : 2건, 타이어 관련 : 3건으로 엔진 관련 사고가 가장 많이 발생하여 전체의 약 41%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한, 차량고장과 관련한 사고가 전체의 총 20건으로 원인이 밝혀진 사고의 55%를 차지하는 것으로 나타났으며 그밖에 화물누출, 과속 등이 화재의 원인으로 나타났다. 이상의 통계로부터, 대부분의 터널화재사고는 인간적인 부주의와 차량의 정비 불량에 의해서 발생하는 것으로 나타났다.

Table 5은 화재 사고시 주 발화 물질을 나타낸 것으로 발화물질은 아주 다양하며, 연료나 휘발성 물질이 전체의 18.2%를 차지하고 위험 화학물질이 54.5%를 차지하고 있어, 위험물 수송차량의 경우 사고에 의해 대형화재로 발생됨을 알 수 있다.

Table. 4 터널 화재사고 원인

화재원인		건 수	비 율 (%)
화물누출		1	3
엔진과열(고장)		15	41
타이어		3	8
과 속		1	3
충 돌	주 돌	6	17
	정면충돌	8	22
브레이크 파열		2	6
미확인		5	-

Table. 5 터널 화재의 주 발화물질

주 발화물질		건 수	비 율 (%)
화 학 물 질	황산염	1	4.5
	paint	2	9.1
	polyester	2	9.1
	polyethylene	2	9.1
	Plastic	4	18.2
	벤젠	1	4.5
	연료	4	18.2
그 밖의 물질		6	27.3
미확인		12	-

3.2 차종별 화재 발생률 비교

Table 6은 프랑스의 도시터널, 고속도로 터널, 양방향 터널에 대한 소형차와 대형차의 화재사고 건수 및 발생률을 나타낸다. 도시터널은 대형차의 혼입율이 상대적으로 낮은 특성에 기인 하여 소형차의 화재가 93%로 지배적인 것으로 나타났다. 고속도로 터널은 소형차의 화재비율이 75%로 대형차에 의한 화재 발생비율이 도시터널 보다 높게 나타났다. 그러나 양방향 터널의 경우에는 대형차에 의한 화재사고가 전체의 76%로 나타남으로서 양방향 터널에서 대형차의 화재가 다 발하는 것으로 나타났다. 이와 같이 양방향 터널에서 대형차의 화재사고 위험이 높게 나타나는 것은 분석대상의 터널이 대부분 고도가 높은 산악터널이기 때문에 차량 엔진과열이 가장 큰 이유로 판단된다.

Table. 6 터널 유형별 소형차 대형차 화재사고 발생건수 및 발생률 (프랑스)

구 분	터널명	소형차량		대형차량		합계	
		건수	발생률	건수	발생률	건수	발생률
도시터널	Fourviere	7	1.8	1	1.9	8	1.8
	Croix Rousse	6	2	0	0	6	1.8
	소계	13 (93%)	1.9	1 (7%)	1.0	14 (100%)	1.8
고속도로터 널 (일방향)	Vuache	1	3.0	0	0	1	2.0
	St. Germain	0	0	1	3.4	1	8.1
	Chatillon	0	10.4	0	0	1	8.1
	Dullin	1	1.6	0	0	1	1.3
	소계	3 (75%)	3.7	1 (25%)	8.5	4 (100%)	4.9
양방향 터널	Frejus	3	3.5	6	12.7	9	8.6
	Mt. Blanc	4	1.5	17	12.7	21	5.4
	Epine	1	0.6	1	4.0	2	1.1
	Chamoise	1	1.5	5	22.6	6	6.8
	소계	9 (24%)	1.8	29 (76%)	13.0	38 (100%)	5.5

Table 7,8은 일본수도 고속도로 공단^{12,13}이 45개 터널을 대상으로 1964년에서 1992년간 화재 발생을 조사한 통계자료를 나타낸다. 도시고속도로 터널의 화재차량은 소형차가 64%로 프랑스 터널의 사고경향 보다는 그 비율이 다소 낮게 나타나고 있으나 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

Elbe 터널자료에 의하면 1990년에서 1999년 사이에 통과차량 389.4×10⁶대 중 전체사고 발생건수는 109건으로 이중 일반차량에 의한 사고는 총 83건, 탱크로리 차량에 의한 사고는 총 24건으로 보고되었으며 전체교통량의 15%를 차지하는 탱크로리 차량의 사고건수가 전체의 25%를 차지하는 것으로 나타났다. 이상의 결과로부터 도시터널과 고속도로 터널의 경우, 소형차의 화재 발생률이 높게 나타났으며, 산악터널의 경우는 지형적으로 경사도 및 표고가 높은 이유로 엔진의 과열을 초래할 수 있는 대형차에 의한 화재 위험도가 증가하는 것으로 판단된다. 특히 전 세계적으로 알려진 대형 화재의 경우는 73.2%가 대형차에 의한 것으로 나타남에 따라 대형차의 위험도가 차량

규모와 함께 상당히 증가함을 알 수 있다.

Table. 7 터널에서의 차량종류별 화재사고 건수(일본수도 고속도로 공단)

차 종	건 수
승용차	15
소형사륜	2
소형화물	1
보통화물	8
대형화물	1
믹서차량	1
불명	15

Table. 8 화재시 사용 소화설비 (일본 수도고속도로 공단)

사용 소화장비	건수
차량비치 소화기	4
소화기	20
소화전	2
소화기+소화전	2
소화기+포소화전	2
포소화전	1
수분무+소화기+포소화전	1
기타	13

3.3 통행 방식별 분석

주요 화재사고를 기준으로 일방향 터널과 양방향 터널의 화재를 비교하면, 통행방식이 알려진 터널에 대해서 양방향 터널 17건과 일방향 터널 12건으로 각각 58.6%, 41.4%로 양방향터널의 경우가 대형화재 발생율이 높은 것으로 나타났다. 또한 일방향 터널에서 사망자는 전체 24명, 양방향 터널의 사망자는 72명으로 양방향 터널에서의 사망율이 높은 것을 알 수 있다.

4. 결 론

- (1) 화재발생률은 10^8 Veh · Km당 약 8건으로 나타났으며 도시터널 및 고속도로 터널에서 소형차에 의한 화재가 지배적인 것으로 나타났다. 또한, 전세계적으로 대형참사를 유발한 화재는 트럭에 의한 것으로 총 73.2%로 전체의 3/4을 차지하는 것으로 나타났다.
- (2) 터널내 화재에서 PIARC기준 80%~90%), 일본수도고속도로공단 기준 53%가 소화기에 의해서 진화가 된 것으로 나타남에 따라, 자동차내부의 소화기 비치에 의한 화재초기대응의 중요성이 입증되었다.
- (3) 대형화재사고는 대부분 위험물을 수송하는 화물차량과 관련되어 있으며, 화재시 발화물질은 연료유 및 화학물질로서 위험물수송에 따른 안전의 재고가 필요한 것으로 나타났다.
- (4) 터널과 일방향 터널에서의 화재사고발생건수는 각각 17건과 12건으로 양방향 터널의 화재건수가 많으며, 각국의 터널이 일방향 터널이 지배적으로 많다는 점을 고려하면 양방향 터널의 위험도가 상대적으로 높은 것을 분석되었다.
- (5) 터널에서의 화재사고는 대부분이 정비불량이 원인으로 차량의 자체결함(45%)에 의

한 것과 충돌 등 운전자의 과실에 의한 것(48%)이 주종을 이루며 그 원인은 human error로 나타났다. 따라서, 사고의 예방적 측면이 강조되어야 하며, 이를 위해서 안전교육 및 터널설비의 운영관리가 강화되어야 한다.

참고문헌

- [1] 김은수, 김효규, 소충섭, "터널방재계획의 재조명", 제3회 터널시공기술 향상 대토론회 논문집, 한국토목학회, 한국 터널학회 공동주관, 2003
- [2] Alan Weatherill, "New Mont Blanc tunnel ventilation systems," Tunnel Management International, Vol. 6, No. 1, 2003
- [3] Xavier Guigas, "The new ventilation systems of Mont Blanc tunnel", 4th Int. Conf. on safety in Road and Rail tunnel, Madrid, Spain, April, 2001.
- [4] Sergiu, F., Task force for technical investigation of the 24 March 1999 Fire in the Mont Blanc vehicle tunnel - Report of 30 June 1999", 2-8-2000.
- [5] Sergiu, F., Task force for technical investigation of the 24 March 1999 Fire in the Mont Blanc vehicular tunnel - Status Report of April 13, 1999", 2-8-2000.
- [6] B. Bettelini, A. Henke, "Upgrading the Ventilation of the Gotthard road tunnel", 11th Int. Sym. on the Aero. and Ventilation of Vehicle Tunnels, pp.29-45, BHRGroup, 2003
- [7] PIARC, Road Safety in Tunnel , PIARC Committee on Road Tunnel, 1995,
- [8] PIARC, Fire and smoke control in road tunnels, Report of the WG 6 of the Road Tunnels Committee of the PIARC, 1999
- [9] Finn H Amundsen and Guro Ranæs, Norwegian Public road Administration, "Traffic Accidents and carfires in Norwegian Road Tunnels.", 3rd Int. Conf. on Safety in Road and Rail Tunnels, pp.3-13, Nice, France, 1998
- [10] STUVA, Brandschutz in Verkehrstunneln, Bundesministerium für Verkehr, Bau- Und Wohnungswesen. 2000
- [11] Michel Perard, Centre d'Etudes des Tunnels, France, "Statics on Breakdowns, Accidents and Fires in French Road Tunnels", Int. Sym. on the Aerodynamics & Ventilation of Vehicle Tunnels, BHRGroup.
- [12] 首都高速道路技術センター, トンネル非常施設に関する調査研究報告書[トンネル設置指針案, 平成5年 2月
- [13] 鮫島利隆, "日本板トンネル火災事故の復舊工事", 日本土木學會誌, 1980年4月号, 1980.4
- [14] Det Norske Veritas, ERS2 "Transport of Dangerous Goods through Road Tunnels, Technical Report of Mission 1, 2", Paris, OECD and PIARC,