

국내 도로터널내 발생 교통사고, 화재사고 및 터널특성 관계 연구

A study on the relationship among traffic accidents, fire occurrences and tunnel characteristics in local road tunnels

김효규*¹, 이창우²
Kim, Hyo-Gyu · Lee, Chang-Woo

Abstract

As the length of local tunnels is getting longer, the demand for tunnel safety attracts more attention. But only a few information can be found concerning traffic and fire accidents occurred in local tunnel, and full-fledged studies had not been carried out to fulfill the expectation of the tunnel users. This study aims at collecting and analyzing the data on traffic and fire accidents in local road tunnels and providing the fundamental data for the tunnel fire safety evaluation. Focus is placed on quantifying the relationship among traffic accidents, fire occurrences and tunnel characteristics.

Keywords: Fire, accident, fatalities/injuries, road tunnel

요 지

최근 터널이 점점 장대터널로 계획됨에 따라, 터널 안전성에 대한 요구도 증가하고 있다. 그러나 국내 터널내의 화재 및 사고에 대한 자료의 축적이 거의 되어있지 않고 관련 연구도 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 터널의 화재 및 사고사례 관련 자료를 수집, 분석하여 국내터널 안전성 평가를 위한 기초자료를 제공하는데 목적이 있으며, 특히 터널내 교통사고 및 화재발생률, 인명피해 발생률과 터널 특성과의 관계 분석에 중점을 두었다.

주요어: 화재, 사고, 인명피해, 도로터널

1. 서론

최근 장대터널 설계시 도로터널에서의 안전성이 중요한 과제로 인식되고 있으나, 국내터널에서는 기초적 수준의 터널화재 및 사고사례에 대한 데이터베이스화도 이루어

어져 있지 못한 상황이므로 방재 설계에 큰 걸림돌이 되고 있다. 장대터널의 증가는 잠재적인 위험도의 증가를 의미하나, 관련 자료의 관리가 체계적이지 못하여 화재 등과 같은 재해의 발생시 인명 및 재산 피해의 최소화를 위한 안전대책의 수립은 더욱 어려운 실정이다. 현재까

*1 (주)삼보기술단 대리 (xram77@empal.com)
2 동아대학교 지구환경공학부 교수

지 국내 터널에서의 화재 및 사고사례에 대한 공식적인 발표 자료는 없는 상태이며, 다만 일부 국회 및 관련기관의 내부자료로 존재할 뿐, 종합적인 데이터베이스화가 되어 있지 않다.

본 연구에서는 최근 15년간 국내도로터널에서 발생한 화재 및 사고사례를 조사, 분석하여 이들 변수와 터널특성간의 관계를 정량화하여 향후 국내 도로터널의 최적방재시스템 설계 및 안전성 평가를 위한 기초자료의 제공을 목적으로 수행하였다.

2. 터널내 차량사고 현황 및 분석

현재 운행중인 국내 도로터널 583개 중 고속도로 터널이 272개로 가장 많으며 1km 이상의 장대터널 비율은 도심지역에서 상대적으로 높게 나타난다 (표 1 참조).

2.1 국내 도로 차량사고 현황

2.1.1 개요

경찰청 통계자료 (2004)에 따르면, 국내 차량사고는 1970년 이후 1990년도까지 급속히 증가해 오다가 최근 2000년도부터 점차 감소하는 경향을 보인다. 대체적으로 승용차의 사고발생비율이 40~60%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 화물차, 승합차, 기타 이륜차 및 특수트럭 등의 순으로 나타나고 있다. 이중 최근 11년간 (1992~2002)의 차량사고에 대한 지역별 발생비율을 살펴보면, 90년 초반까지는 도심밀집지역의 사고발생비율이 높게 나타났으나 90년 후반 이후부터는 도심기타지역의 사고발생비율이 높게 나타나고 있다 (그림 1~3 참조).

2.1.2 차량사고와 사망자수 관계

차량사고 발생건수와 사망자수의 관계를 고속도로상의 차량사고를 대상으로 분석한 결과는 다음과 같다. 분석결과 경찰청 (도로교통안전관리공단) 자료는 차량사고 발

표 1. Road tunnels by length (2003.12)

도로유형	터널연장 [m]						합계	1km 이상
	0~500	500~1000	1000~1500	1500~2000	2000~∞			
고속도로	119	113	18	10	12	272	14.7%	
일반국도	70	53	2	6	0	131	6.1%	
특별·광역시도	58	21	6	13	4	102	22.5%	
국가지원 지방도	6	7	0	1	0	14	7.1%	
지방도	16	7	2	1	2	28	17.9%	
시·군도	22	10	2	2	0	36	11.1%	
합계	291	211	30	33	18	583	13.9%	

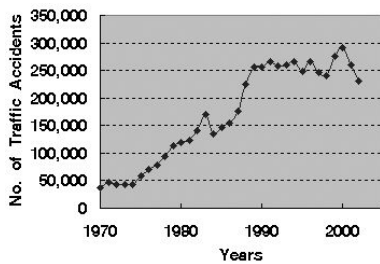


그림 1. Trend in accident rate

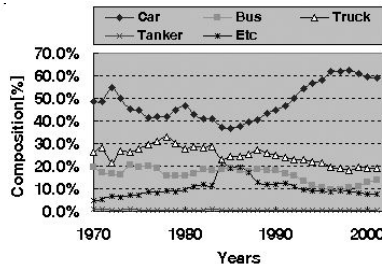


그림 2. Percentage by vehicle types

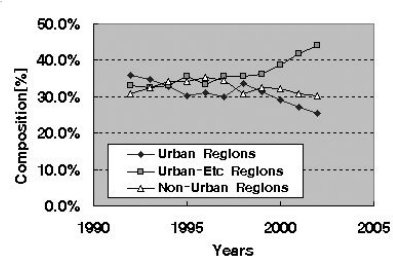


그림 3. Percentage by location

생건수와 사망자수 사이의 관계가 폭넓게 형성되어 뚜렷한 상관관계를 찾기가 어려운 반면, 한국도로공사의 자료는 비교적 뚜렷한 선형관계를 보여주고 있다 (그림 4 참조). 두 기관의 자료를 종합해 볼 때, 국내 고속도로상의 1회 사고당 사망자 수는 대략 0.12~0.14명의 범위를 보이고 있다.

한국도로공사 자료 (2003)에 의한 교통사고율 분석 결과, 최근 10년간 국내 고속도로의 100만대당 사고건수는 12.9~2.8건 정도이며 (표 2 참조), 시간당 사고율 (100만대 km당)은 309.1~67.9로 점차 감소하는 경향을 나타내고 있다 (그림 5 참조). 참고로 한국도로공사에서 발표한 교통량 자료는 누적거리 교통량을 의미하며, (시간당) 사고율 값은 타 연구자의 자료 (오철 등, 1999)와

비교할 때 비슷하거나 다소 낮은 수준으로 나타난다. 또한 100만대 km당 사고율과 사망자수의 관계를 살펴보면, 사고율 200~300 범위에서 가장 많은 사망자수가 발생하였던 것으로 분석된다 (그림 6 참조).

2.2 터널내 차량사고 현황

경찰청에서 집계하는 터널내부 발생 교통사고건수는 매년 150~450건 정도로, 전체 교통사고의 0.094% 정도 수준으로 나타나고 있다. 이중 2000.1~2003.12까지의 터널내부에서 발생한 사고자료를 기준으로 분석하면, 최근 4년간 국내 도로터널에서 발생한 총 사고건수는 1,305건이며, 인명피해는 사망 55명, 부상자 2,665

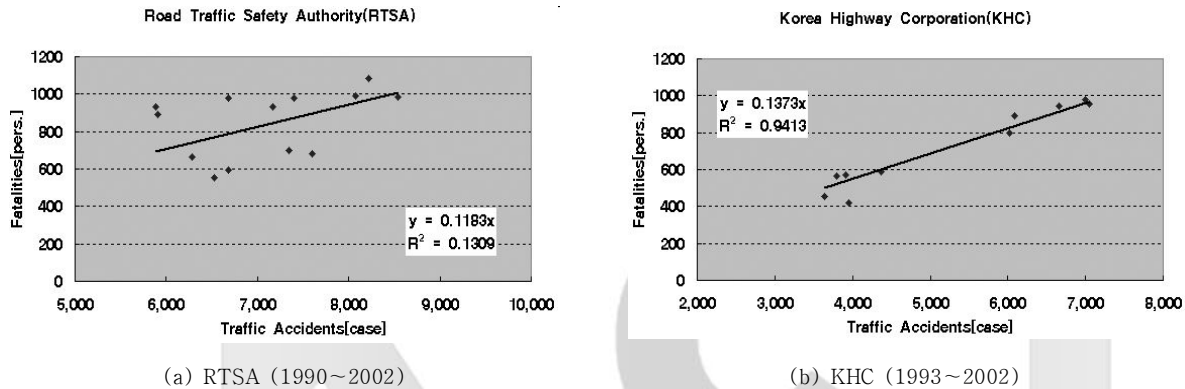


그림 4. Relationship between traffic accidents and fatalities in highways

표 2. Traffic accident rate in highway sections

연도	이용차량수 [\times 천대]	사고건수 [건]	100만대당 사고빈도 [$\times 10^6$.veh]	100만대km당 사고율 [$\times 10^6$.veh.km]
1993	472,927	6,091	12.9	309.1
1994	563,412	6,654	11.8	283.4
1995	692,019	7,049	10.2	244.5
1996	839,087	6,995	8.3	200.1
1997	929,920	6,019	6.5	155.4
1998	824,895	4,364	5.3	127.0
1999	921,408	3,797	4.1	98.9
2000	1,051,422	3,910	3.7	89.3
2001	1,198,767	3,638	3.0	72.8
2002	1,398,778	3,957	2.8	67.9

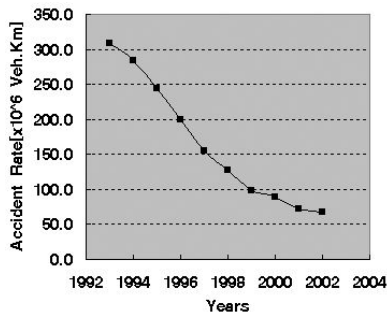


그림 5. Trends of accidents rate (highway)

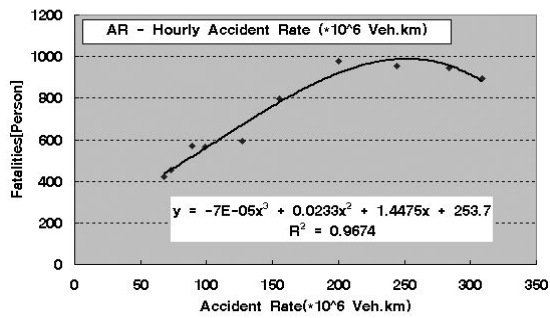


그림 6. Relationship between accident rate and fatalities

표 3. Traffic accidents in tunnel sections (2000.1~2003.12)

년도	사고건수 [건]	사망자 [명]	부상자 [명]	재산피해 [×100만원]
2000	301	13	593	626
2001	292	9	578	559
2002	259	8	545	659
2003	453	25	949	886
합계	1,305	55	2,665	2,730

표 4. No. of traffic accidents by tunnel and vehicle types

터널유형	사고건수 (A)					사망자수 (B)					상대비율 (B/A) [%]
	승용차	승합차	화물차	기타	소계	승용차	승합차	화물차	기타	소계	
특별시도 터널	221	38	53	28	340	1	1	2	1	5	1.5%
고속도로 터널	214	68	80	7	369	10	4	6	0	20	5.4%
국도/지방도 터널	180	32	78	19	309	3	3	4	3	13	4.2%
기타 터널	180	31	60	16	287	13	2	0	2	17	5.9%
합계	795	169	271	70	1305	27	10	12	6	55	4.2%
	60.9%	13.0%	20.8%	5.4%	100%	49.1%	18.2%	21.8%	10.9%	100%	

명으로 집계되었고 총 27.3억의 재산피해를 자쳐운 것으로 조사되었다(표 3 참조). 사고 발생시간은 오후 2시에서 오후 6시 사이에 가장 많이 발생하였으며, 지역별로는 서울~경기 (36.4%), 부산~경남 (24.2%), 강원도 (13.6%) 순으로 나타나고 있다. 이중 사망자수는 부산~경남 (32.7%), 서울~경기 (25.5%), 강원도 (14.5%) 순으로 나타나 사고건수 대비 사망자수가 가장 많은 부산~경남지역의 터널사고 위험도가 가장 높은 것으로 나타나고 있다.

도로터널 사고 총 1,305건 중, 승용차 (60.9%), 화물차 (20.8%), 승합차 (13.0%) 순이며, 도로유형별로는 고속도로터널 (28.3%), 특별시도터널 (26.1%), 일반터널 (23.7%)의 순으로 사고가 발생한 것으로 조사되었다(표 4 참조). 또한 전반적으로 총 터널부 교통사고건수에 대한 사망자수를 조사기간으로 나누어 보면, 국내 도로터널의 차량사고 1건당 연간 0.01명의 사망자가 발생한 것으로 분석되었다. 한편 기타터널의 사망자수는 시·군도 및 농도, 임도, 항만도 등을 포함한 터널에서 발생한

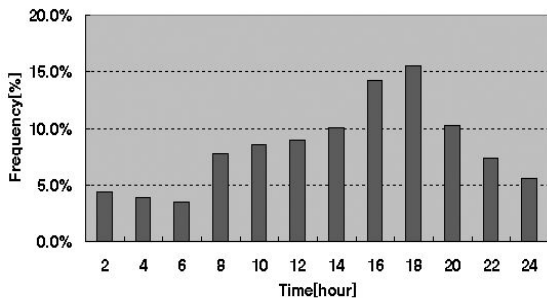


그림 7. Temporal variation of traffic accidents

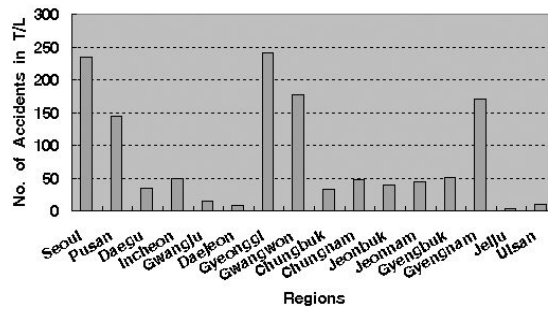


그림 8. Traffic accidents by regions

사망자 수를 의미한다.

2.3 터널내 화재사고 현황

터널내 화재 및 차량사고에 대한 관련기관 자료 (행차

부, 2001), 감사자료 (행차부, 2003) 및 언론/방송/인터넷 매체를 통하여 수집한 사고자료를 운행중인 차량터널에 한정하여 분석한 결과는 다음과 같다.

표 5. Fire occurrences in tunnels (1990.1~2004.6)

년도	발생 건수	사망자 [명]	부상자 [명]	년도	발생 건수	사망자 [명]	부상자 [명]	년도	발생 건수	사망자 [명]	부상자 [명]
1990	-	-	-	1995	3(1)	-	-	2000	11	4	2
1991	3	2	3	1996	2	-	-	2001	8(4)	1	-(3)
1992	2	-	-	1997	4	-	-	2002	12(1)	2	-(8)
1993	-	-	-	1998	4(2)	2	-	2003	11	-	48
1994	1	-	-	1999	8	-	-	2004.6	1	-	-
소계	6	2	3	소계	21(3)	2	0	소계	43(5)	7	50(11)
								총계	70(8)	11	53(11)

(Note) 괄호()안의 숫자는 공사중 발생한 화재사고임.

표 6. Tunnel fire occurrences with injuries

발생일자	위치	터널명	사망자수	부상자수	차종	화재원인
1991.8.27	대전	대덕	2	3	승용차	추돌
1998.6.30	부산	광안	2	-	화물차	충돌
2000.8.13	경남	산청3	4	1	화물차	차량 불티
2000.11.22	경남	장북	-	1	이륜차	충돌 스파크
2001.2.8	부산	만덕	1	-	화물차	교통사고후 화재
2002.12.5	전남	무안3	2	-	승용차	터널입구 충돌후 화재
2003.6.6	서울	홍지문	-	48	소형버스	교통사고후 화재
합계			11	53	*총 7건 발생에 인명피해자수는 64명	

2.3.1 터널 화재사고 현황

도로터널내 화재사고는 총 78건이 발생하였으며 이중 운행중인 터널에서 발생한 화재사고는 70건이며, 인명피해를 동반한 화재사고는 7건이었다 (표 5 참조).

2.3.2 인명피해 발생 터널화재 사고

인명피해가 발생한 7건의 화재사고로 사망자 11명, 부상자 53명 총 64명의 피해가 발생하였다 (표 6 참조). 조사기간 동안 발생한 총 피해자수를 화재발생건수로 나누어 보면 터널화재사고 1건당 약 0.9명의 인명피해를 가져온 것으로 분석되며, 평균적으로 연간 4.4명의 인명피해를 동반한 화재사고가 발생하였다. 반면 최근 4.5년 (2000.1~2004.6) 동안은 총 43건의 터널화재사고의 경우, 사고 1건당 1.3명의 인명피해를 가져왔으며 연평균 12.7명의 인명손실이 발생한 것으로 분석되어 최근 터널화재에 대한 잠재적 위험도가 급속하게 증가된 것으로 나타났다.

표 7. Tunnel fire causes

항목	빈도 [건]	구성비 [%]
전기적 결함	24	34.3
엔진/제동장치	24	34.3
추돌/충돌	12	17.1
담뱃불/불티	5	7.1
가스누출	1	1.4
기타	4	5.7
합계	70	100.0

표 8. Composition of vehicle types

차종	빈도 [건]	구성비 [%]	
이륜차	2	5.0	60
승용차	19	47.5	
소형버스/승합차	3	7.5	40
대형(좌석)버스	2	5.0	
(특수) 화물차	14	35.0	
합계	40	100.0	

2.3.3 터널화재 사고의 화재원인

운행중 터널에서 발생한 화재사고 70건에 대한 화재원인을 살펴보면, 대부분이 전기결함이나 엔진결함에 의한 화재사고 (68.6%)가 주를 차지하고 있으며, 다음으로 교통사고와 같은 추돌 및 충돌사고 후 발생화재 (17.1%) 그리고 담뱃불/불티에 의한 화재사고 (7.1%) 순으로 나타나고 있다 (표 7, 그림 9 참조). 일반적으로 국외 터널 화재사고의 원인은 추돌과 충돌에 의한 사고가 가장 많은 것으로 보고 되고 있으나, 국내는 다소 낮게 나타난다. 한편, 차량화재사고 69건 외 1건이 공동구에 담뱃불 투척에 따른 터널 시설물 화재사고로 보고 되고 있다.

표 8은 차량유형이 알려진 화재사고 40건의 차종별 구성비를 나타내고 있다 (그림 10 참조). 화재차량은 승용차의 구성비가 47.5%로 가장 높으며, 화물차, 승합차 순으로 나타난다. 이는 독일 함브르크 소재 하저터널인 Elbe Tunnel에서 16년간 발생한 총 63건의 화재사고 (PIARC, 1995)의 구성비, 경차(Light vehicles) 62%, 중차 (Heavy vehicles) 38%와 거의 비슷한 분포를 보여주고 있다.

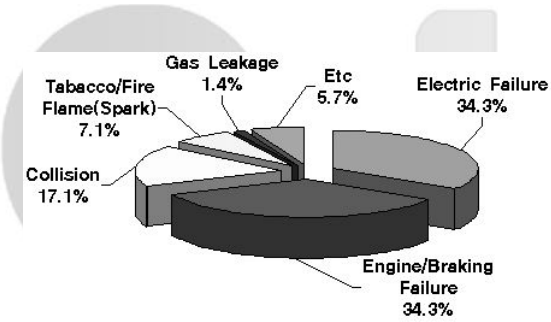


그림 9. Tunnel fire causes

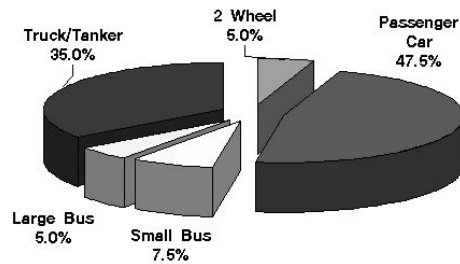


그림 10. Composition by vehicle types

표 9에서는 동일한 자료를 도로 및 터널 유형별로 구분하여 살펴보았다. 특별광역시도는 도심지 터널로, 고속국도는 고속도로 터널로, 기타 일반국도 및 지방도는 일반터널로 구분하였다. 도심지 및 고속도로상의 터널의 경우는 소형차량의 화재사고율이 높은 반면 일반국도상의 터널은 대형차량의 화재사고율이 2배 이상 높게 나타나는 분포를 보인다. 일반국도상에서 대형차량에 비교하여 소형차량의 화재발생건수가 상대적으로 낮은 것은 승용차와 같은 소형차량 운전자들의 일반국도 노선 이용률이 비교적 낮은 것에 기인한 것으로 추정된다.

2.3.4 도로유형별 터널화재 현황

화재사고를 도로유형별로 나누어보면 고속도로, 특별광역시도, 지방도의 터널 순으로 발생하였으며 각 도로상의 전체 터널개소를 고려한다면, 특별광역시도의 터널, 즉 도심지 터널에서의 화재사고 위험도는 상대적으로 높음을 알 수 있다 (표 11 참조).

2.3.5 지역별 터널화재 현황

지역별 발생현황을 살펴보면, 부산~경남지역의 터널 화재 발생건수가 전체 51.4%를 차지하고 있으며, 서울~경기지역이 24.3%, 대전~충북지역이 11.4% 순으로 나타나고 있다 (그림 11 참조).

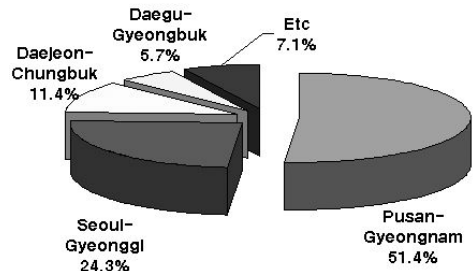


그림 11. Locational distribution of fire accidents (1990.1~2004.6)

표 9. Composition by location and vehicle types

구분	이륜차	승용차	소형버스/승합차	대형버스	화물차 (특수차)
(특별광역시도) 도심지터널	1	9	2	1	4
	12 (70.6%)			5 (29.4%)	
(고속국도) 고속도로터널	-	9	1	1	5
	10 (62.5%)			6 (37.5%)	
(일반국도/지방도) 일반터널	1	1	-	-	5
	2 (28.5)			5 (71.4%)	
합계	24건 (60%)			16건 (40%)	

표 10. Tunnel fire occurrences by location

지역	부산	경기	경남	충북	서울	강원	경북	대구	대전	기타	합계
화재건수 [건]	22	14	12	6	5	2	2	2	2	3	70
구성비 [%]	31.4	20.0	17.1	8.6	7.1	2.9	2.9	2.9	2.9	4.3	100.0

표 11. Tunnel fire occurrences by road types

도로유형	고속도로	일반국도	지방도	특별광역시도	기타 (BOX)	합계
화재건수 [건]	28	5	8	27	2	70

2.3.6 터널별 화재발생 현황

총 44개 터널에서 70건의 터널화재가 발생하였으며, 2건 이상의 화재사고가 발생한 터널은 16곳으로 조사되었다. 이중 3건 이상의 터널화재 사고가 발생한 터널은 6개로, 창원 (경남소재, 2.3km) 터널 6건, 만덕터널 4건 그리고 수암, 백양, 구덕, 광안 터널에서 각각 3건이 발생하였다. 또한 터널별로 3번 이상의 화재사고가 발생한 전국의 터널 6개소 중 부산지역의 터널이 4개나 차지해 타 지역에 비해 부산지역의 터널이 위험에 많이 노출된 것으로 조사되었다.

2.3.7 시간별 화재발생 현황

그림 12는 화재 발생시간이 알려진 34건의 터널화재 사고의 사고발생 시간분포를 나타내고 있다. 차량화재가 가장 빈번하게 발생하는 시간대는 오후 2~6시 사이인 것으로 나타났으며, 전체 화재 발생 시간대의 32.4%를 차지하는 것으로 조사되었다.

2.3.8 터널연장별 화재사고 현황

표 14는 화재발생 터널의 길이별 현황을 나타내고 있다. 화재사고 70건의 자료군중 화재가 발생한 터널의 개소는 총 44개소이며, 이중 지하차도 (BOX) 2곳을 제외한 일반 도로터널의 경우, 화재가 가장 많이 발생한 터널 길이는 1000m 미만으로 전체 발생건수의 54.4%를 차지하는 것으로 나타났다. 현재 국내 소방관련법 및 방재 기준상에는 1000m 이상인 터널에만 제연설비를 설치하도록 규정하고 있어 1000m 미만 터널에서의 화재안전성에 대한 높은 관심이 요구된다.

전국터널 집계자료 (표 1 참조)는 상하행선 터널을 별도의 터널로 구분하고 있으므로 실제로 상하행선 터널을 1개소로 고려할 경우 총 터널 개소는 343개소이며 중 42개소의 터널에 화재가 발생한 것으로 조사되어 전체의 약 12%에 해당하는 터널에서 화재가 발생한 것으로 나타났다. 1000m 이상의 장대터널에서는 31건의 화재사고가 발생하였으며, 터널 길이가 3.0km 이상인 운행중 터널 3곳 중, 죽령, 둔내터널 2곳에서 화재사고가 발생한

표 12. Tunnels showing most fire occurrences

터널명	창원	만덕	수암	백양	구덕	광안	기타
위치	경남	부산	경기	부산	부산	부산	
화재사고 [건]	6	4	3	3	3	3	48
사망자수 [명]	-	1	-	-	-	2	8

표 13. Temporal distribution of fire occurrences

시간	발생빈도 [건]	구성비 [%]
0:00~2:00	2	5.9
2:00~4:00	3	8.8
4:00~6:00	2	5.9
6:00~8:00	2	5.9
8:00~10:00	3	8.8
10:00~12:00	2	5.9
12:00~14:00	3	8.8
14:00~16:00	6	17.6
16:00~18:00	5	14.7
18:00~20:00	1	2.9
20:00~22:00	2	5.9
22:00~24:00	3	8.8

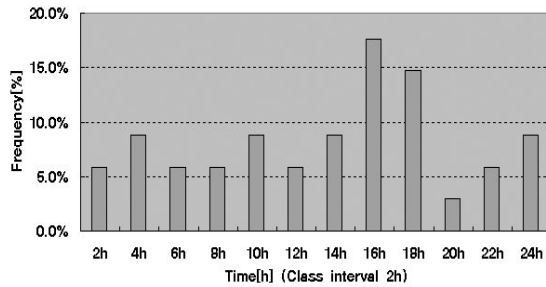


그림 12. Temporal distribution of fire occurrences at 34 tunnels

표 14. Tunnel fire occurrences by length

터널연장	터널현황		화재 빈도	
	터널수	구성비 [%]	화재발생 [건]	구성비 [%]
0~500m	291	49.9	16	23.5
500~1000m	211	36.2	21	30.9
1000~1500m	30	5.1	8	11.8
1500~2000m	33	5.7	11	16.2
2000~3000m	12	2.1	9	13.2
3000~4000m	4	0.7	2	2.9
4000~5000m	2	0.3	1	1.5
합계	583	100.0	68	100.0

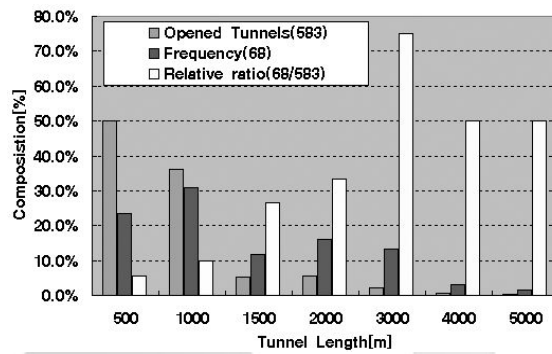
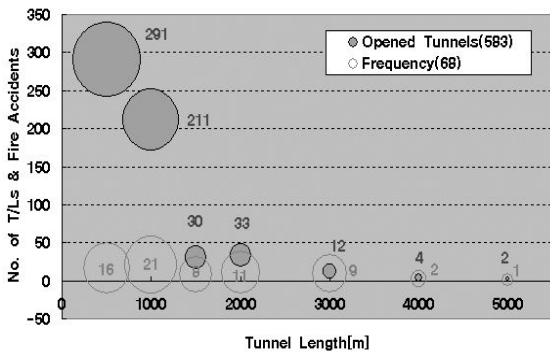


그림 13. Distribution of fire accidents by tunnel length (68 tunnels excluding box tunnels)

것으로 나타나 향후 장대터널에서의 안전한 방재계획 수립이 중요한 과제를 알 수 있다. 그림 13은 터널 연장 별 화재발생 현황을 나타내고 있다.

2.3.9 터널폭원과 화재사고 현황

화재발생 터널폭원의 경우, 폭원이 8~10m인 경우가 전체의 50%를 차지하고 있으며, 10m 이상일수록 감소하는 경향을 나타내고 있다 (표 15 참조).

표 15. Fire accidents by tunnel width

터널폭	빈도수 [건]	구성비 [%]
0~8m	4	5.9
8~9m	13	19.1
9~10m	21	30.9
10~11m	8	11.8
11~12m	8	11.8
12~13m	1	1.5
13~14m	8	11.8
14m 이상	5	7.4
합계	68	100.0

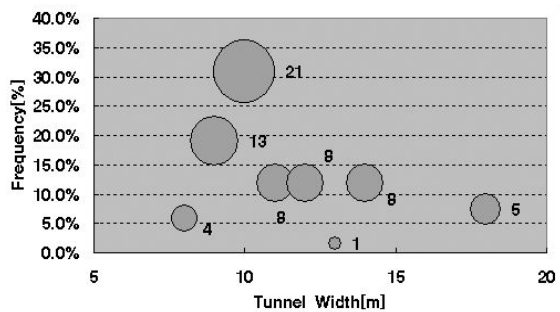


그림 14. Distribution of fire accidents by tunnel width

2.3.10 터널의 종단경사별 화재사고 현황

종단경사가 알려진 15개 터널에 대한 화재발생 빈도수 30건을 분석한 결과, 최대 종단경사가 1.5~2.0%인 터널이 전체 화재발생 구성비의 66.7%로 가장 높게 나타났으며, 이는 일반적인 터널의 종단경사가 2.0% 미만임을 고려할 경우, 터널의 종단경사가 증가할수록 터널의 화재발생 위험도가 큰 경향을 보여준다 (표 16 참조).

2.3.11 개통후 터널 노후화에 따른 화재발생 현황

터널 개통년수와 화재사고 발생 누적건수 분포를 살펴보면, 개통후 5년 이내 50%, 10년 이내 64.7%, 20년 이내 79.4%에 발생하였던 것으로 조사되었다. 일반적으로 목표연도까지 교통량은 꾸준히 증가하며 터널내 화재 및 사고도 증가할 것으로 예상되지만, 실제로는 5년이

경과한 후에는 터널의 노후화에 따라 화재사고 건수는 낮아지는 경향을 보여준다. 이는 초기 교통량이 낮은 단계에서도 화재사고가 발생할 경우가 크게 나타나며, 사고율이 교통량과 단순 비례하지 않음을 의미한다. 오 등의 연구 (1999)에 의하면, 실제 국내외 교통량과 사고율의 자료들은 선형이 아닌 'U'형 관계 (양단의 값이 높게 나타나는 형태)로 보고되고 있으며, V/C (교통량대 교통용량의 비로 지체정도를 나타내는 비)에 따라 사고율이 다른 경향을 보이고 있다. 따라서 이것은 낮은 교통량 수준에서도 사고율이 높을 수 있음을 의미하므로, 이에 대한 지속적인 국내연구가 요구된다.

2.3.12 환기방식별 화재현황

표 18은 사고발생 터널의 환기방식과 인명피해 관계를

표 16. Fire accidents by grade

종단경사	빈도수 [건]	구성비 [%]
0.0~0.5%	1	3.3
0.5~1.0%	3	10.0
1.0~1.5%	3	10.0
1.5~2.0%	20	66.7
2.0% 이상	3	10.0
합계	30	100.0

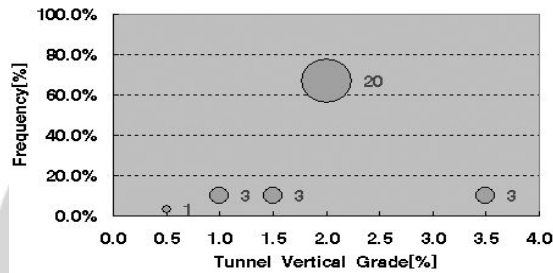


그림 15. Distribution of fire accidents by tunnel grade

표 17. Fire accidents by age

노후년도	빈도수 [건]	구성비 [%]
0~5yrs	34	50.0
5~10yrs	10	14.7
10~15yrs	6	8.8
15~20yrs	4	5.9
20~25yrs	7	10.3
25~30yrs	3	4.4
30~35yrs	2	3.0
35~40yrs	1	1.4
40~45yrs	1	1.5
45~50yrs	0	0
합계	68	100.0



그림 16. Fire accidents by age

표 18. Fire accidents by ventilation system

환기방식	발생건수 [건]	사상자수 [명]
자연환기 방식	33 (47.1%)	8 (72.7%)
제트팬 방식	13 (18.6%)	1 (9.1%)
집진기/수직구 방식	3 (4.3%)	-
횡류/반횡류 방식	21 (30.0%)	2 (18.2%)

표 19. Annual trends in traffic and fire accidents

년도	교통사고 (A)	화재사고 (B)	비율 (B/A)
1994	162	1	0.62%
1995	165	3	1.82%
1996	220	2	0.91%
1997	250	4	1.60%
1998	224	4	1.79%
1999	319	8	2.51%
2000	301	11	3.65%
2001	292	8	2.74%
2002	259	12	4.63%
2003	453	11	2.43%

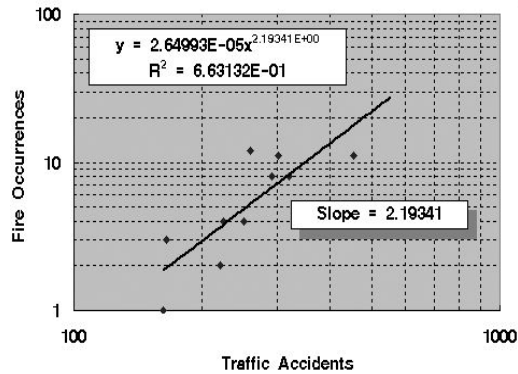


그림 17. Tunnel accidents vs. fire occurrences

표 20. Accident index for last 4 years (2000.1~2003.12)

조사자료	조사기간	터널사고 현황 (Accidents)				사고지수 (Accident Index)			
		건수 [건]	사망 [명]	부상 [명]	년발생율 [건/년]	피해자/년 [명/년]	사망자/년 [명/년]	피해자/건 [명/건]	사망자/건 [명/건]
터널 차량사고 (A)	2000.1 ~ 2003.12 (4 years)	1,305	55	2,665	326.3	680.0	13.75	2.084	0.042
터널 화재사고 (B)	2000.1 ~ 2003.12 (4 years)	42	7	50	10.5	14.25	1.75	1.375	0.167
상대비율 (B/A)		3.2%	12.7%	18.8%	3.2%	2.1%	12.7%	65.1%	397.6%

보여주고 있다. 자연환기방식을 적용한 터널에서의 발생 건수 및 인명피해가 가장 큰 것으로 조사되었으며, 고속 도로상의 자연환기터널이 가장 많은 빈도를 보였다. 도로유형별로는 고속도로는 제트팬 방식이 도심지는 반횡류 방식의 터널에서 화재사고가 많이 발생한 것으로 조사되었으며 이들 환기방식은 각각의 도로유형에서 가장 보편적인 환기방식이다.

2.4 터널 차량사고와 인명피해 관계

표 19는 최근 10년간 (1994~2003)의 터널내 교통사고 및 화재사고건수를, 그림 17은 두 사고간의 상관관계를, 그리고 표 20은 최근 4년간 (2000~2003) 현황을 나타내고 있다.

터널내 교통사고와 터널화재 발생률은 log 스케일로 변환한 경우, 뚜렷한 선형관계를 보여주고 있다 (그림 17

참조). 또한 최근 4년간 자료를 분석한 결과 연간 터널내 교통사고에 대한 화재사고 건수는 3.2% 수준에 불과하나, 부상 및 사망자수는 화재사고시가 상대적으로 각각 6배 및 4배정도 높은 것으로 나타나 터널화재 발생시의 인명 피해가 상대적으로 높은 것을 알 수 있다.

한편 연간 도로상에서 발생하는 교통사고는 대략 25~30만건 정도로 집계되고 있으며, 이중 0.094% 정도가 터널내 차량사고이며, 터널내 교통사고 1건당 화재사고는 0.62~4.63% 정도이다. 따라서 터널내 화재사고 발생확률은 전체 교통사고의 약 $0.58 \times 10^{-3} \sim 4.35 \times 10^{-3} \%$ 정도로 나타났다.

3. 결론

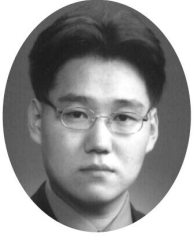
본 연구에서는 최근 15년 (1990.1~2004.6)동안 발생한 총 78건의 터널화재사고 중 운행중인 터널에서 발생한 70건의 화재사고를 분석하였다.

1. 국내 도로터널의 총 화재사고 발생건수 78건중, 운행중 터널 70건, 공사중 터널 8건이 발생하였다. 64명(사망 11명, 부상 53명)의 인명손실을 발생하여, 화재사고 1건당 및 연간 인명피해는 각각 0.9명, 4.4명이었다.
2. 오후 2~6시 사이에 가장 많은 터널화재가 발생하였으며, 지역적으로는 부산~경남지역 (51.4%), 서울~경기지역 (24.3%), 대전~충북지역 (11.4%)의 순으로 빈도가 높았다. 특히 경남지방의 창원터널의 경우, 6번의 터널화재사고가 발생하였다.
3. 고속도로 및 도심터널의 경우, 소형차의 화재발생빈도가 높았으며, 일반국도 터널에서는 대형차의 빈도가 높게 나타났다. 화재대상 차종은 소형:대형차의 구성비가 60:40% 정도로 나타났고, 화재원인은 전기적 결함이나 엔진과열 (68.6%) 그리고 추돌 및 충돌사고 (17.1%), 담뱃불 및 기타 사고의 순으로 분석되었다.

4. 터널연장이 1km 미만인 터널에서의 발생빈도가 가장 높았으나, 화재발생 확률은 상대적으로 2km 이상의 터널이 높은 것으로 나타났다. 화재발생 터널의 폭원은 9~10m인 경우가, 중단경사는 1.5~2.0%인 터널의 빈도가 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 터널 개통후 5년 이내에 화재발생 사례가 전체 발생의 50%로 나타났다.
5. 터널내 사고발생시 화재사고의 발생률은 최근 증가추세를 보이고 있으며, 터널사고 1건당 화재사고 발생확률은 0.62~4.63% 정도이며, 터널내 화재사고 발생률은 $0.58 \times 10^{-3} \sim 4.35 \times 10^{-3} \%$ 정도로 추정된다.
6. 개통후 수년내에 화재사고 발생률이 높음에 따라 개통초기에 터널화재에 관한 훈련 및 이용자에 대한 홍보가 절대적으로 필요한 것으로 판단된다. 또한 최근 유럽의 Euro Test와 같은 국내 도로터널의 위험도 평가작업은 국내 터널을 대상으로 한 관련변수에 대한 광범위한 연구가 선행되어야 할 것으로 사료되며 이를 위하여 터널 사고의 데이터베이스화가 반드시 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 행정부 (2003.9), 2003 국회요구 자료제출 -터널내 화재발생 현황 (2000~2003.8).
2. 행정부 (2001), 최근 10년간 터널 (Tunnel) 火災 現況 (90~2000).
3. 경찰청 (2004), 터널 교통사고 현황 (2000.1~2003.12).
4. 김은수, 김효규, 소충섭 (2003.12), "도로터널 방재계획의 재조명", 대한토목학회, 제3회 터널 시공기술 향상 대토론회 논문집, pp. 31-51.
5. 한국도로공사 (2003.3), 02년 고속도로 교통사고 분석.
6. 오철 외 (1999.6), "고속도로 시설물 구간의 교통혼잡도와 사고율의 관계 분석", 대한교통학회지, 제17권 제2호, pp. 21-27.
7. PIARC (1995), Road Safety in Tunnels (Ref. 05.04.B)



김효규

(주)삼보기술단 대리
xram77@empal.com



이창우

동아대학교 지구환경공학부 교수
cwlee@daunet.donga.ac.kr

K C I