

도로터널의 방재설계 -사례중심으로-

박정주^{1)*}

Recommendations of Safety Design in Road Tunnels - Based on up-to dated experiences -

Jung Joo Park

Abstract Yearly, it seems the fact that the numbers of tunnels with wide sections are on the rise as the length of tunnel and number of lanes continues increasing. According to these trends, well-schemed plans of design, construction and management related with tunnel safety has become to be crucial. It is a high possibility to be observed by the fact that the direct effects of casualties and property damages are caused by the situations of car collisions, bump to solid structures by careless driving and fire outbreak on vehicles by mechanical fault. Therefore, in order to prevent these types of accidents, we would make issues and adopt appropriate mechanical and management plans of emergency exits and disaster prevention equipments inside of tunnel, based on up-to dated experiences and study of foreign cases, to structural design technology. The objectives of this study are to recognize related actual problems and suggest improvement plans.

Key words Tunnel safety, Emergency exits

초 록 터널은 매년 그 연장이 길어지고 차선수도 증가하여 초 장대, 대 단면의 도로터널이 급격히 증가하는 추세다. 이런 추세에 따라 터널의 안전에 관련한 설계 시공 운영에 대한 철저한 대비가 어느 때보다 요구되는 실정이다. 도로터널 내 자동차와 자동차의 추돌과 충돌, 운전 부주의로 인접한 고형 구조물과 충돌, 자동차의 결함으로 인한 자체적인 발화 등으로 대형사고가 발생하여 인명과 재산에 미치는 영향이 크게 될 가능성이 높다. 따라서 이런 사고를 방지하기 위하여는 현재까지의 경험과 외국의 사례를 기초로 터널 내 비상시설과 방재시설을 초 장대터널의 길이와 규모에 적합한 기술적, 관리적 문제를 상정하고 그 내용을 설계에 반영하도록 하여야 할 것이다. 본 기사에서는 이와 관련된 내용을 점검하고 개선 방향을 제시하고자 한다.

핵심어 터널안전, 비상탈출구

1. 서 론

근래 우리나라의 도로설계 추세를 보면 제일 우선순위를 자동차 주행속도에 두고 있다. 가급적 도로선형을 좋게 하고 설계속도를 높이는 방향으로 도로를 계획하고 있는 추세이다. 앞으로 설계속도를 150~170 km/h까지 높이는 꿈의 초고속화 도로도 구상 중이다. 따라서 도로 전체에서 장대교량(연장 1 km 이상)이나 장대터널(연장 3 km 이상)이 차지하는 비율이 크게 증가하고 있다.

이 중에도 특히 터널의 개소와 길이가 급격히 늘어나

고 있다. 우리나라는 2002년 현재 도로터널이 498개소에 연장이 336 km에 달한다. 이제 우리나라도 길이 5~10 km가 넘는 장대 터널이 계속해서 시공될 전망이다. 본 기사에서는 이 같은 장대터널에 대한 안전설계를 수행하기 위하여 외국의 장대터널내의 추돌 및 화재사례와 우리나라의 것을 살펴보고 좀 더 안전한 터널설계와 터널 내 화재발생으로 인한 사고대처방안을 제기하고자 한다.

2. 도로교통사고의 유형

2.1 미국과 우리나라의 교통사고 유형

미국의 AASHOTO에서 발표한 미국의 2003년도 도로교통사고의 유형과 우리나라의 경우를 비교한 것을

¹⁾ 한국해의기술공사 도로교통기술원 부회장

* 교신저자 : jjoopark2000@hanmail.net

접수일 : 2007년 8월 22일

심사 완료일 : 2007년 9월 12일

표 1에 나타내었다.

이 조사에 의하면 미국의 경우 주요 사망사고의 원인으로, 도로주변의 고정구조물과 충돌하거나 도로 밖에서 전복하는 사고로 인한 사망자수가 18,781명으로 전체 사망자수의 44%로 가장 많고, 다음으로 안전벨트 미착용으로 18,019명이 사망하여 전체 사망자수의 42%를 나타내고 있다. 조사에 의하면 안전벨트를 착용함으로써 14,903명의 생명을 구했다고 보고하고 있다. 다음으로 음주, 과속, 난폭운전 순으로 나타나고 있다.

우리나라의 경우는 과속 및 난폭운전자의 교통사고 사망자수는 6,261명으로 전체사망자수의 95%에 이른다.

다. 다음으로 교차로 및 교량 터널부근의 고정구조물과의 충돌로 인한 사고사망자수는 2,543명으로 전체사망자수의 38%에 이른다.

상기에서 사망사고의 특기할 내용은 미국의 경우 도로교통사고의 주류를 이루는 것은 도로주변의 고정구조물과의 충돌과 안전벨트착용상태나 음주운전상태로 나타난다. 우리나라는 과속 및 난폭운전으로 나타나고, 교차로, 교량, 터널부근의 사망자수가 매우 높게 나타나 있다. 2005년 건설교통부 자료에 의하면 도로교통사고가 터널 내에서 382건으로 조사되어 있다(건설교통부, 2005, 교통안전연차보고서). 우리나라의 통

표 1. 미국의 자동차 운전자 별 사고원인 및 사망자 수

주요사고원인	미국 (2003년)		우리나라 (2003년)	
	사망자 수	유형별 내용	사망자 수 (명)	유형별 내용
20세 미만 운전자	3,571	16~20세	610	20세 미만
면허정지자 및 면허 취소자	6,973	불법면허 소지자	884 (370)	(도망자)
노년 운전자	2,716	65~74세	390 (61상)	61상
	3,914	74세 이상	-	자료없음
난폭 및 과속운전자	11,990	규정속도 이상	4,653	
	3,565	난폭운전	1,608	
음주불량운전자	17,013	음주운전	1,042	2004년
졸음이나 정신이상	3,730	졸음부주의	-	자료없음
	1,577	완전수면상태	-	자료없음
안전벨트 미착용	18,019	운전자 및 탑승자 미착용	-	
보행자	4,749		2,425	
자전거	622		460	
자동차와 자동차 충돌	-		2,443	
자동차와 열차 충돌	324	차단기 무시 등	5	
오토바이와 원동기	3,661		399	2004년 자료
중량 트럭	4,986	자동차 내에서 사망	664	
자동차의 안전조치	(14)	2002년 CO가스로 인한 무의식 운전으로 인한 사망14명 (확실한 증거는 없음)		
도로일탈 (차량단독)	18,781	자동차가 도로를 이탈하여 고정물체와 충돌하여 일어난 가장 극심한 사고	1,165	
교차로	6,903*	교차로 + 단일로 교차로부근 등	2,543	2004년
작업구간	1,028		303	
심한충돌이지만 생존가능성이 있는 경우의 사망자	1,850**	지방: 병원까지 호송시간 > 1시간	-	자료없음
	258**	도시: 병원까지 호송시간 > 1시간		자료없음
전체 사망자 수	42,643*	2003년도	6,563	2003, 2004년도

*전체사망자수는 상기 총합보다 적은 것은 1개 이상의 사고원인이 중복되어 계상되었기 때문임

**치명적

계는 졸음운전이나 안전벨트 착용여부에 따른 사고조사를 구분하여 나타내지 않고 있고 심한 충돌이지만 생존가능성이 있는 사망 자에 대한 조사내용도 나타내지 않고 있다. 이는 장대 터널 내에서 도로교통안전사고가 발생했을 때 사고자의 생명을 구하기 위한 관리방법을 구상하는데 중요한 자료가 결여된 것으로 본다. 도로교통사고에서 사망원인을 구체적으로 규명하는 것은 사고를 예방하는 시스템 개발에 큰 도움이 된다. 미국의 경우처럼 졸음운전, 안전벨트미착용으로 인한 사망자, 심한 충돌이지만 병원까지 호송시간이 1시간 이내였다면 생존가능했을 사망자 수 등에 대한 구체적 원인을 규명할 필요가 있다.

2.2 우리나라 교통사고 현황

우리나라의 교통사고 발생건수는 OECD 국가 중에 최상위에 속한다. 이것에 관한 조사내용은 다음과 같다. 우리나라와 외국의 도로교통사고를 인구 10만 명당 교통사고 사망자 수와 주행거리 1억 km당 사망자수에 대한 내용은 다음 표 2, 표 3과 같다. 우리나라는 이 표에서 알 수 있듯이 도로교통사고 사망률이 다른 OECD국에 비하여 거의 두 배에 이른다.

비록 우리나라는 지금까지 통계상 집계된 내용이 2004년 터널 내의 사고건수가 382건으로 나타나 터널 외의

표 2. 인구 10만 명 당 도로교통사고 사망자 수 (IRTAD, 2005. 7)

국명	운전자 사망자 수	보행자 사망자 수	어린이 사망자 수	노약자 사망자 수
한국	13.6 (2002년 14.9명)	6	4.1	43
일본	7.0	2.1	1.3	-
영국	6.1	1.3	1.3	6.9
독일	8.0	1.0약	-	9.2
스웨덴	5.9	0.6	1.3	-

표 3. 자동차 주행거리 1억 km당 사망자 수

국명	자동차주행 1억 km당 사망자 수 (기준연도)
일본	1.34 (2000년)
미국	1.46 (2003년)
영국	0.75 (1999년)
프랑스	1.48 (2002년)
독일	0.97 (2003년)
한국	2.27 (2003년)

부분보다 미미할 정도로 적기는 하지만 터널 내 사고는 밀폐된 공간에서 발생하는 사고로 운전자나 통행자에게 심한 공포와 구난의 어려움으로 대형참사를 불러 올 가능성이 있다는 점에서 설계와 운영면에서 빈틈없는 조치가 강구되어야 한다. 따라서 장대터널 설계에서는 더욱 엄격한 규정을 정하여 적용하고, 운전자에게는 안전규칙을 준수하도록 정기적인 홍보와 교육이 필요하다. 따라서 이 기사에서는 도로터널 현황과 터널 내에서 발생한 사고를 국·내외의 사례를 통하여 살펴보고 터널을 설계할 때 고려해야 할 사항을 상정해 보고자 한다. 우리나라는 57% 이상이 안전운전 불이행으로 인하여 교량과 터널부근 고정물과 충돌로 인한 사고가 다수를 점하고 있는 통계를 고려하면 특히 터널 내를 통행하는 운전자에 대한 교육의 필요성과 동시에 법규를 강화하고 위반운전자에 대한 처벌이 엄격하게 적용되어야 할 것이다.

3. 장대터널의 현황

세계적으로 도로터널의 연장이 급하게 증가하고 있는 추세다. 현재 공용중인 터널연장 6~10 km 이상인 장대 도로터널은 1965년 프랑스와 이태리를 연결하는 길이 11.6 km인 Monc Blanc 터널을 비롯하여, 오스트리아의 Alberg 터널, 노르웨이 Leadal 터널을 들 수 있다. 최근에는 2차선 쌍 터널로 얼마 전 개통한 타이완의 Hsuehshan(雪山)터널은 양방향 2차선인 길이가 약 13 km인 장대 도로터널이다. 또한, 현재 공사 중인 대표적 장대도로터널은 중국의 Zhongnanshan 터널로 이는 양방향 2차선으로 2007년 개통 예정인 이 터널은 길이가 18.040 km이다. 일본의 Hida터널은 길이 10.750 km로 2010년 개통 될 예정이다. 세계적으로 길이 10 km이상의 도로터널은 표 4와 같고 이웃 일본의 6 km이상 장대터널의 현황은 표 5와 같다. 또한 2006년 이후 개통이 예정된 10 km이상인 장대 도로터널의 현황은 표 6과 같다.

우리나라는 2002년 현재 도로터널이 498개소에 연장이 336 km에 달하고 이 중 1 km 이상의 도로터널은 157개소에 이른다. 길이 3 km 이상 장대 도로터널은 표 7과 같이 육십령터널, 죽령터널, 둔내터널, 사패산터널 등 4개소 정도에 불과하나 지금 설계를 완료했거나 계획 중인 3 km이상의 도로터널은 다음 표 8과 같다.

4. 도로터널의 사고 유형

근래 터널굴착의 기계화, 암반공학적 기술, 발파기술,

표 4. 길이 10 km 이상인 장대 도로터널 현황

국명	터널명	길이 (m)	개통일	비고
Norway	Leadal	24,510	2000. 11. 27	2차선 단일터널
Switzerland	St.Gottard	16,918	1980. 5. 9	2차선 단일터널
Austria	Alberg	13,972	1978. 12. 1	2차선 단일터널
France-Italy	Fréus	12,895	1980. 7. 12	2차선 단일터널
France-Italy	Mont-Blanc/Monte Bianco	11,611	1965. 7. 19	2차선 단일터널
Norway	Gudvanga	11,428	1991. 12. 17	2차선 단일터널
Norway	Folgefonn	11,150	2001. 6. 15	2차선 단일터널
Japan	Kan-etsu (south bound tunnel)	11,055	1991	2차선 상행터널
Japan	Kan-etsu (north bound tunnel)	10,926	1985	2차선 하행터널
Italy	Grand Sasso d'italia	10,176	1984. 12. 1	2차선단일터널 (east direction)
Italy	Grand Sasso d'italia	10,173	1995	2차선단일터널 (west direction)
Austria	Plabutsch	10,085	2004. 12. 17	2차선 단일터널 (west tube)

표 5. 일본의 장대 장대터널 현황 (6,000 m 이상)

국명	Tunnel 명칭	터널연장 (m)	비고	공법	비고
일본	關越터널	11,000	1985	NATM	2차선 쌍굴터널
	飛驒터널	10,700	시공중	TBM	2차선 쌍굴터널
	東京灣아쿠아라인	9,500	1997	Shield Machine	2차선 쌍굴터널
	惠那山터널	8,600	1975	NATM	2차선 쌍굴터널
	第2新戶터널	7,200	1988	개삭	2차선 쌍굴터널
	新新戶터널	6,900	1976	개삭	2차선 쌍굴터널
	雁坂터널	6,600	1998	NATM	2차선 쌍굴터널
	飛後터널	6,300	1989	NATM	2차선 쌍굴터널

표 6. 2006년 이후 개통예정인 장대도로터널

국명	터널이름	길이 (km)	개통일자	비고
Taiwan	Hsuenhshan	12,942	2006. 6. 16	2차선 쌍굴 + 서비스터널
China	Zhongnanshan	18,040	2007예정	2차선 쌍굴
France	Le tunnel Est	10,000	2006예정	2차선 2층터널
Korea	Inje Tunnel	11,000	2010예정	2차선 쌍굴
Japan	Hida	10,750	2010예정	2차선 쌍굴 + emergency tnel

표 7. 우리나라 주요고속도로 장대도로터널 시설현황 (3 km 이상)

터널명	터널길이 (m)	준공년도	비고
둔내터널	L=상3,300 하3,300	1999	2차선쌍굴
죽령터널	L=상·하4,600	2001	2차선쌍굴
사패산터널	L=상·하3,990	2008. 2	2차선쌍굴
육십령터널	L=상·하3,170	2006	2차선쌍굴
서울시흥~우면동간	L=상·하8,700	2007착공	3차로쌍굴

암반 및 지반 보강기술, 그라우팅 기술, 계측 기술, 터널 환기 기술 등의 발달로 터널의 장대화에 대한 설계 및 시공기술이 급속히 발전하여 전 세계적으로 도로설계에서 터널을 채용하는 경우가 급격히 증가하고, 그 길이도 대단히 길어지고 있다. 따라서, 도로를 직선화하여 교통시간을 단축함으로써 물류비용과 사회적 비용을 절감하고 있다. 그러나 이에 반하여 터널길이가 길어짐

에 따라 터널 내 사고가 증가하고 이로 인한 인명피해와 사회적 비용이 또한 증가하고 있다. 우리나라보다 도로터널의 역사가 오래된 선진외국의 도로터널 내 사고 원인과 피해상황을 표 9에 정리하여 나타내었다.

최근 우리나라도 터널 내 사고로 적잖은 인명피해와 재산손실 등 사회적 비용이 증가하고 있다. 지금까지 우리나라의 도로터널 내 사고건수는 382건으로 보고되어

표 8. 우리나라의 설계 및 시공 중이거나 계획 중인 장대터널 현황 (L=3,000m이상)

노선명	터널명	터널길이 (m)	설계년도
춘천~양양간	진동터널	L=8,600	1999.설계
산성터널및 접속도로	산성터널	L=4,860	2002.설계
산외-상분간도로	능동터널	L=4,500	시공중
고창-담양간고속도로	고창터널	L=3,873	2002.설계
호남고속광주우회도로	장성터널	L=3,300	시공중
충주-상주간 고속도로	장연터널	L=3,100	2002설계
서울-양양간 고속도로	인제터널	L=11,000	2006설계
서울시흥~우면동간	강남순환	L=8,700	2007착공
함양-울산간 고속도로	2공구 (명칭미확인)	L=4,360	계획중
함양-울산간 고속도로	26공구	L=7,650	계획중
함양-울산간 고속도로	27공구	L=6,550	계획중

표 9. 외국의 터널 내 자동차 사고

사고 발생 년	국명	사고원인	피해상황
1949	Holland Tunnel New York USA	80드럼의 Carbon Disulfide 적재추력 충돌	66명부상 사망자 없음 차량전소
1969	Moorfleet Tunnel West Germany	14 ton Polyethylene 운반차 발화	차량전소
1979	Nihonzaka Tunnel Japan	4대의 대형추력과 2대의 자동차 충돌	7명 사망 4대의 터럭과 2대의 자동차 충돌. 차량 173대 전소
1982	Coldecott Tunnel USA	Gasoline운반추력과 Bus충돌	7명 사망 2명부상 차량 6대 전소
1999. 3. 24	Mont Blanc Tunnel France ~ Italy	무해한 분말과 마가린 운반용 Lorry차 발화	차량 20대 전소. 터널내 시설 대부분 파손. 39명 사망
1999. 5. 29	Aipine Tunnel Austria	충돌화재	155명 사망
1999	Taurern Tunnel Austria	차량충돌 화재	12명 사망. 50명 부상
2000. 5. 29	Cross-harbour Tunnel Hong Kong	자동차발화	사상자 없음. 10대의 소방차와, 80명의 소방관투입. 500명 소개. 2~3시간 교통 통제
2001	Prapunti Tunnel Italy	탱크로리발화 (기계적 결함)	14명 경상
2001	St Gottard Tunnel Switzerland	타이어 운반차량 충돌	10명 사망 30여명 실종 250 m터널 라이닝 붕괴
2001	Kaprun resort Tunnel Austria (ski resort)	화재	155명 사망
2001	Alps Tunnel Austria		
2006. 9. 17 (일)	그라우빈덴 고속도로터널	이이스하키팀을 태운 버스와 승용차 충돌	두 차량전소 6명 사망 6명 중경상

있다. 336 km에 불과한 도로터널길이에 비하면 거의 km당 매년 1건 이상의 사고가 도로터널 내에서 발생한다. 현재 설계중이거나 시공중인 터널이 130 km 정도이고 계획중인 터널을 고려하면 수 년 내에 도로터널의 길이가 총 500 km 정도가 예상된다. 특히 3 km 이상의 장대터널 증가로 터널 내에서의 사고건수가 증가할 가능성이 많다. 사고의 결과조차 예단하기 어려운 대형사고로 이어질 가능성을 외국의 사고사례를 통해 유추할 수 있다. 터널 내에서의 사고는 일반 도로에서의 사고에 비하여 공포심을 유발하고 유독가스에 그대로 노출되어 구난에도 많은 어려움이 발생하기 때문에 도로상에서의 사고와는 다른 차원에서 검토되어야 한다. 앞으로 6~10 km이상의 장대 도로터널이 공용될 것에 대비한 대책이 조속히 마련되어야 할 것이다. 다음 표 10은 2006년 현재 우리나라 도로터널에서 발생한 사고를 유형별로 정리한 것이다.

상기 사고내용을 외국의 사례와 직접 비교 분석하기는 어렵다. 그러나 특징적으로 나타나는 것은 우리나라는 도로터널에서 외국의 경우처럼 인명손실을 동반하는 대형참사는 일어나지 않고 있다. 이것은 길이가 대부분 2 km 미만의 터널이기 때문이다. 사고의 유형은 우리나라의 경우 졸음운전이 2건이고 그 외 8건은 모두 차량의 결함으로 보고되어 있다. 외국의 경우는 대부분 자동차 충돌로 인한 자동차 화재가 주류를 이루는데 이것은 유럽의 경우 터널 길이가 10 km 이상의 장대터널

이고, 터널설계가 운전자에게 적합하지 않은 요인이 있기 때문이다. 또한, 사고로 인한 인명피해가 큰 것은 장대터널로서 구난시스템, 대피시스템, 운영관리시스템이 장대터널에 적합한 시스템을 개발하지 못하여 발생하는 것이다. 도로터널 내에서의 사고의 유형을 좀 더 운전자 중심으로 사고의 원인을 규명할 필요가 있다. 상기한 우리나라 도로터널내의 사고의 유형이 단순히 차량결함으로 보고되고 있기는 하지만 엄격히 운전자의 차량관리나 운전부주의에서 기인하는 내용으로 이해해야 한다. 또한, 터널운영관리상 터널의 설계나 조명 등 다른 이유에서 발생한 사고는 없었는가 하는 등의 운전자 중심의 사고원인과 도로터널의 운영관리상 문제 등 다각적 분석이 필요하다.

5. 터널방재시설 설치규정 및 현황

5.1 우리나라

우리나라의 도로구조시설기준에 관한 규칙·해설 및 방재시설기준에 의하면 터널길이 4 km 이상, 2 km 이상, 1 km 이상, 0.8 km 이상, 0.6 km 이상, 0.2 km 이상, 0.2 km 이하 등 터널길이 별로 시설기준을 정하고 있다(표 11).

또한, 도로구조 시설기준에서 명시한 기준과 소방법에서 규정한 내용을 보면 대부분 일치한다. 다만 비상조명등이 도로기준에 의하면 200 m 이상이고 소방법

표 10. 도로터널에서 발생한 유형별 사고내용

일 시	터널명	사고원인	피해사항
1997. 7. 31	마성터널	타이어파손	차량전소
2000. 5. 26	수리터널	행들과대조작	차량전소
2000. 7. 15	영동터널	타이어파손	차량전소 부상1명
2001. 1. 30	달성1터널	제동장치	차량전소
2001. 3. 11	다부터널	전기장치결함	차량전소
2002. 5. 7	수암터널	엔진과열	차량전소
2002. 6. 23	중부1터널	졸음운전	차량전소
2002. 7. 20	봉평터널	엔진과열	차량전소
2002. 8. 7	죽령터널	졸음운전	차량전소
2003. 6	홍지문터널	차량충돌	부상 2명. 연기흡연 40명. 2시간 40분 통제
2005. 11. 1	구마고속도로달성2터널 하행선	브레이크과열 화재 타이어파열	미사일 운반차량 파손. 미사일 폭발. 피해액 10.3억 19시간 40분 통제
2006. 5. 1	부산구덕터널	승용차엔진과열 화재	승용차화재. 수십대차량 대피 40분 통제
2006. 10. 15	신대구-부산고속 상동2터널	터널벽충돌	차량파손. 2명 사망
2007. 1. 20	중앙고속도로 다부터널	엔진노후 정비불량	버스 전소 2명 안전대피
2006. 10. 24~30	중앙고속도로 죽령터널		사고대비가상훈련

에서는 500 m 이상으로 규정하고 있고, 연결송수관 설비가 도로기준에는 1,000 m 이상인 반면, 소방 법에서는 2,000 m 이상으로 규정하고 있는 점이 다르다(표 12). 토목분야 중 상·하행선이 분리된 쌍굴 도로터널인 경우 대피시설은 750 m 정도(700~800 m), 비상주차대는 750

m 정도로 비상주차대와 병행설치하는 것으로 규정하고 있다. 왕복 2차선 대면교통인 터널에서 2,000 m 이상인 터널에서는 별도의 대피용 터널을 만드는 것을 권장하고 있고, 이 경우 연락 갭은 300~350 m 정도로 만들어야 한다고 규정하고 있다.

표 11. 우리나라 방재시설기준

터널길이 (m)		4000 이상	2000 이상	1000 이상	800 이상	500 이상	200 이상	200 미만	분야
비상시설	소화기구	☑	☑	☑	☑	☑	☑	○	기계설비
	소화설비	☑	☑	☑					
	소화설비	☑	☑	☑					
경보시설	비상경보시설	☑	☑	☑	☑	☑	○		전기설비
	화재감지기 (자동)	☑	☑	○	○	○	○		
	비상방송설비 (수동)	☑	☑	○					
피난설비	비상조명등	☑	☑	☑	○	○			기계설비
	유도표시판	○	○	○					
소화활동설비	제연설비	○	○	○					기계설비
	배연설비 (도로공사)	○	○	○					전자통신
	무선통신보조설비	○	○	○	○	○			기계설비
	연결송수관설비	☑	☑	○					전기설비
	급수전	○	○	○					전자통신
통보, 경보설비	비상콘텐츠설비	☑	☑	☑	○	○			전자통신
	비상전화	☑	☑	☑	☑	☑			전자통신
기타설비	정보표시판 (터널입구)	○	○	○	○				전자통신
	비상전원설비	☑	☑	☑	○	○	○		전자통신
	라디오재방송설비	○	○	○	○	○	○		전자통신
	CCTV	○	○	○					전자통신
	피난연락갭	○	○	○					토목
비상주차대	○	○	○					토목	

○: 한국도로공사 방재설치기준 ☑: 소방방재시설기준과 도로공사방재시설기준이 일치되는 것

표 12. 소방법과 도로시설기준이 다른 내용

소방 법 시행령	내용	소방법과 다른 도로기준
1) 시행령28조 (소화설비)에서	①소화기구는 연면적 33 m ² 이상 ②옥외소화전 설비는 터널길이 1,000 m 이상	
2) 시행령29조에 의하면	①비상경보설비는 터널길이 500 m 이상 ②비상조명등 500 m 이상터널	②비상조명등 200 m이상
3) 시행령30조에 의하면	①피난설비는 500 m 이상	
4) 시행령32조에 의하면	①제연설비는 터널길이 1,000 m 이상 ②연결송수관설비는 2,000 m 이상 ③비상콘텐트는 500 m 이상 ④무선통신보조설비는 500 m 이상	②연결송수관설비는 1,000 m 이상

5.2 일본

일본의 도로터널 비상용시설 설치기준은 우리나라와 달리 일일 교통량을 고려하여 다음과 같이 규정하고 있다. 터널연장 10 km 이상인 AA등급, 터널연장 3~10 km인 A등급, 터널연장 1~3 km인 B등급, 터널연장 0.5~1 km인 C등급, 터널연장 0.1~0.5 km인 D등급 등으로 일일 교통량을 고려하여 시설기준을 정한다(그림 1). 일본의 도로공단 터널비상용 시설설치기준에 의한 주요시설에 관한 규정만을 발췌하면 다음과 같다.

- 1) 터널길이 750 m 정도 이상의 터널에서는 피난연락갱구를 설치한다.
- 2) 터널길이 1,500 m 정도 이상의 터널에서는 배연설비를 설치한다.
- 3) 피난 갱구는 터널등급 AA급 및 연장 3,000 m 이상의 A급 터널 중에 대면통행방식에서 종류환기방식을 채용하는 터널에 설치한다.
- 4) 상기 이외의 길이가 짧은 AA급 터널에도 배연설비가 피난통로에 반드시 설치해야 한다.
- 5) 길이 1,000 m이상의 B급 터널과 급수전이 설치된 터널갱구 부근은 송수구를 설치해야 한다.
- 6) 물 분무시설은 터널길이 3,000 m이상이면서 교통량 4,000대/일 이상으로 대면교통방식을 채용한 터널에 설치한다.
- 7) 정전시 조명설비는 전 터널에 설치한다.
- 8) 길이 500 m 이상인 터널은 비상용 자가발전설비를 설치한다.

9) 길이 200 m 이상의 터널에서는 무정전전원설비를 설치한다.

이 외에 일본 도로터널 비상용시설의 설치기준을 그림 1과 표 13에 나타내고 비교표를 표 15에 정리하였다.

5.3 Europe

Europe은 500 m 이상인 시공중이거나 설계중인 도로터널은 Trans European Road Network(TERN)에 따르면 하도록 하고 있다.

Europe의 TERN의 주요 규정

- 1) 2방향 단일 터널은 종류식 환기방식을 채용한다.

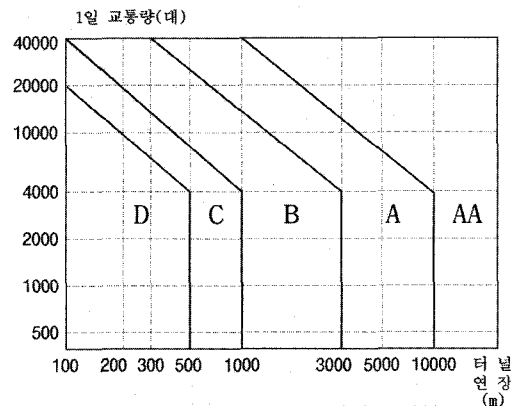


그림 1. 일본 도로공단의 터널 등급 구분

표 13. 일본 도로터널 비상용시설의 설치기준

긴급시설		터널구분				
		AA	A	B	C	D
정보 경보시설	긴급전화	●	●	●	●	
	버튼식 정보 시설	●	●	●	●	
	화재 감지기	●	●			
	긴급 경보 시설	●	●	●	●	
	소화기	●	●	●		
	소화전	●	●			
	안내판	●	●	●		
기타 시설	매연배출기 혹은 피난로	●	○			
	급수전	●	○			
	라디오통신 보조기기	●	○			
	라디오 재방송 기기 혹은 스피커	●	○			
	스프링클러	●	○			
	관측기기	●	○			

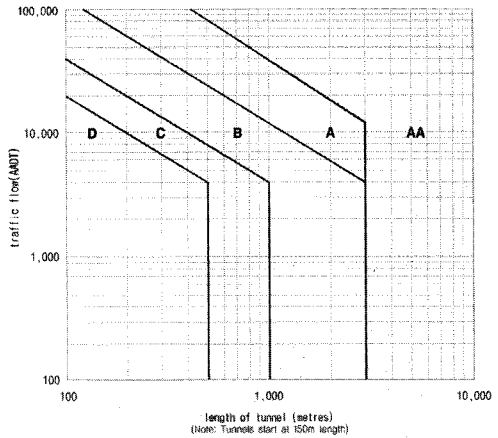
이표의 ●는 시설이 법적으로 설치되어야 하는 시설임, ○는 요구에 따라 설치되는 기기임

- 2) 비상탈출구는 500 m 이내에 한 개소씩 설치한다.
- 3) 비상주차대는 1000 m 이내에 한 개소씩 설치한다.
- 4) 상·하행선 쌍굴은 최소 500 m마다 연결통로를 설치하고 매 3개소마다 긴급재난구조차량이 통행할 수 있는 규모로 설치한다.
- 5) 상기의 경우 매연이 다른 터널로 이동하지 않게 시설한다.
- 6) 터널의 경사는 5% 미만으로 한다(우리나라 0.3~2%).
- 7) 교통량이 많은 도로터널인 경우는 상기 규정보다 엄격하게 규정을 적용한다.
- 8) 특히 수중터널은 위험물질을 운반하는 차량에 대하여 그 통과여부를 Risk Analysis를 통하여 결정한다.
- 9) 터널길이가 5 km 이상의 경우는 터널 중앙지점의 1 km 이내 지점에 탱크로리가 회전할 수 있을 정도의 충분한 크기의 피난연락갱(Turning Bays)을 설치한다.

이 외에 영국 등 유럽 도로터널 비상용시설의 설치기준을 그림 2와 표 14에 나타내고 비교표를 표 15에 정리하였다.

6. 도로터널의 방재실험 및 실제화재 사례

지금까지 몇몇 곳에서 터널화재에 대비하여 상당한 규모의 실험을 실시한 이력이 있다. 이에 대한 몇 가지 예를 기술하면 다음과 같다.



Determination of Tunnel Category

그림 2. 영국도로터널의 등급 구분

표 14. 영국 도로터널 비상용시설의 설치기준

SAFETY AND FIRE REQUIREMENT EQUIPMENT		TUNNEL CATEGORY				
		AA	A	B	C	D
Communication and Alarm Equipment	Emergency Telephone	●	●	●	●	*
	Radio Broadcasting Sys	●	○	○	○	
	Traffic Loops	●	○	○	○	○
	CCTV	●	○	○	○	○
Fire Extinguishing Equipment	Hand Held Fire Extinguishers	●	●	●	○	
	Pressurised Ffire Hydrants	●	●	●	●	○
	Fire Hose Reels	●	○	○	○	
Signs and Rescue Equipment	Emergency Exit Signs	●	●	●	○	○
	Lane Control and Tunnel Closure Signs / Signals	●	●	●	●	○
Other rovisional and equipment	Emergency Stopping Lane	●	●	●		
	Emergency Walkway	●	●	●	●	○
	Escape Doors	●	○	○		
	Turning Bays	○				
	Ventilation for Smoke Control	●	●	●	○	○

- Normal provision
 - Requirement to be determined by TDSCG (Tunnel Design and Safety Consultation Group)
 - Provision determined by local requirements
- Tunnel Catgory : See Figure -2

표 15. 일본, 유럽, 한국의 시설기준의 비교표

내용	일본 (터널길이)	한국 (터널길이)	유럽의 제안된 조치
터널입구정보판	-200 m이상	-800 m이상	-150 m이상 모든 터널에 설치권유
터널내정보판	-3,000 m이상 A급 -10,000 m이상	-500 m이상	-길이방향 50 m마다 높이 1~1.5 m 높이에 설치
유도표시판	-200 m이상	-1,000 m이상	-터널길이 방향 50 m마다 설치
배연설비	-1,500 m이상 -1,000 m이상 AA급 -상기 이외의 짧은터널에서도 AA급터널은 피난통로에 설치	-횡류식, 반횡류식, JetFan에 배연가 능시설 설비 -1,000 m이상 (도로공사)	- Axial Fans, Centrifugal Fans, Jet Fans,
제연설비	-	-1,000 m이상 (방재시설규정)	-기본적으로 *HGTV화재시나리오에 의해 설계함
피난연락기구	-750 m이상	-1,000 m이상 (상·하행분리 터널은 250~750 m간격으로 하고 -단일터널내 상·하행인 경우300~350 m간격으로 설치	-200~500 m마다 설치하고 매 600~1500 m마다 소방차의 진입이 가능한 크기로 함 -터널길이가 5 km이상인 경우 중간지점에 탱크로리가 회전할 수 있는 충분한 크기의 연락 갱을 설치
비상주차대		-750 m간격으로 연락갱구와 병행설치	-500~1,000 m간격으로 설치
피난갱구	-10,000 m이상 -3,000 m이상 A급	-	-비상탈출구 500 m이내 마다 시설
급수전	-3,000 m이상 -1,000 m이상B급 터널로 급수전이 설치된 터널의 갱구부근 송수구를 설치	-1,000 m이상 (도로공사)	-150 m이상 설치권유 -500 m이상 일일 교통량 4,000대 이상 의무 설치
연결송수관	-	-2,000 m이상	터널길이 500 m이상, 일교통량 4,000대 이상 c급 이상 설치
누전동축케이블	-10,000 m이상 -3,000 m이상 A급	-500 m이상	-150 m이상터널 설치
갱구전화	-10,000 m이상 -3,000 m이상 A급	-	-150 m이상터널 설치
라디오재방송설비	-3,000 m이상 A급	-200 m이상	-150 m이상터널 설치
물분무설비	-3,000 m이상 A급으로 4,000대/일 이상의 대면교통방식을 채택한 터널 -10,000 m이상	-4,000 m이상	-기술적 충분한 보장이 미흡한 실정이나 **UNECE는 온도감소효과, 2차 화재전파 감소 등 많은 장점 확인으로 권장하는 추세임
감시시설	-A TYPE-물분무설비가 있는 경우 200 m간격 -B TYPE-물분무가 없는 3,000 m 이상 A급터널에 설치	-CCTV (ITV) 1,000 m이상 설치	-Video Monitoring System 1,000 m이상 설치
무정전전원설비	-200 m이상	-	-
비상용자가발전설비	-500 m이상	-	-
Risk analysis	-	-	수중 및 장대터널의 통과화물 중 위험물질에 대한 통행여부
터널구배	-	0.3~2%	5% 미만

*: Heavy Good Vehicle; **: United Nations Economic Commission for Europe

가. 버지니아주 스탠다드의 폐쇄된 터널(미국)

1987년에 폐쇄한 이 터널에 1993년 온도감지기, 비데 오카메라, 매연 이동에 관한 형태감지기 등을 설치하고 4가지 환기 시스템(횡류식, 반횡류식, 종류식, 자연 환기)에 대한 효율성을 시험하기 위한 실험실을 만들었다. 실험은 100 MW화력(757 Liters의 휘발유 연소화력)을 사용했다. 이 실험으로 얻은 중요한 결론은 Jet Fan에 의한 종류식 환기방식의 효율성을 발견했다.

나. A86도로터널(프랑스)

길이 10 km의 장대 2층 터널의 개통에 앞서 별도로 실험크기의 실험용 터널을 만들어 2003년 실험크기의 화재를 만들었다. 160개의 센스를 설치하고 70대의 중고차를 2차선인 경우와 3차선인 경우 길이 50 m로 나열하고 화재를 발생시켰다. 사전에 자체 긴급구호 서비스를 갖추고 화재열이 30 MW까지 오르기 직전의 초기 단계에서 화재진압을 실시하고, 10분 후 물 분사와 환기시스템을 가동하여 본격적인 화재진압작업을 개시했다. 이 결과를 3차원 화상 Soft Ware에 의하여 시험 전, 시험 중, 시험 후의 자료를 수집 분석했다. 이 결과를 다음과 같이 정리하였다.

- 1) 화재발생 후 10~12분 이내에 물 분사나 화재진압 활동이 전혀 없는 경우는 종류식 환기가 다른 자동차에 화재를 이동시킬 가능성이 크다.
- 2) 효과적인 화재진압작전이 수행 된 경우 대략 10~12분 내에 이상적인 조건을 갖춘 출구로 피난이 가능하다.
- 3) 물 분사시스템은 매연을 상당히 진정시키고 복사열을 감소시키고, 화재를 완전히 진압시키지는 못하나 화재의 확산을 방지한다.
- 4) 터널구조물을 고열에 의한 피해를 줄일 수 있었다.

다. Cross-Harbors Tunnel(홍콩)

터널 내 화재에 대한 실험내용은 아니지만 상기 터널에서 발생한 화재사고로 얻은 교훈은 많다. 이것을 요약하면 다음과 같다. 화재사고 내용은 2000년 5월 29일 오후 터널을 통하던 자동차가 발화되었다. 발화의 원인은 밝혀지지 않았다. 자동차 운전자는 혼자 진화를 노력하다가 결국 자동차를 버리고 탈출했다. 4분 정도 후에 80명의 진화 반과 10대의 소방차가 도착하여 진화를 했다. 이 사고로 터널관리자는 500명 정도의 사람을 탈출시켰다. 운전자들은 약 1시간 후에 다시 돌아왔고 교통은 정상화 됐다. 실제상황에서 터널관리자는 다음과 같은 몇 가지 문제를 제기했다.

- 1) 방화규정은 올바른가?

2) 터널 내 스프링클러시스템은 효과가 있는가?

3) 화재안전관리의 역할은 무엇인가?

4) 정부는 환경문제로 디젤엔진을 LPG로 대체했는데 만약 LPG차량이 화재가 발생했다면 어떻게 되었을까?

또한, 터널관리사무소의 관리원에 대한 문제점으로 나타난 것들은 다음과 같다(South China Morning Post, 2000b).

- 1) 더 큰 혼잡을 초래할 것을 두려워해서 공공 방송 시스템을 통한 올바른 사고정보를 알리지 못했다(화재안전대피 훈련 부족).
- 2) 화재장소에 소방원과 구호반들이 사고발생 후 10분 이후에 도착했다(만약 액체발화 물의 발화인 경우 사고발생 후 3분 이상 이었다면 안전한 대피 조치가 어렵고 화재제어도 불가능했을 것임).
- 3) 소방대가 도착하기 전에는 화재를 진압하는데 터널관리자가 전혀 도움을 주지 못했다(자체터널관리자 소화노력이 전혀 없었음).

라. 고타르 터널의 화재에 의한 터널구조물의 손상(스위스)

2001년 고타르 터널 화재의 경우 두 대의 차량이 전소된 경우인데 250 m의 터널 라이닝이 붕괴된 사례가 있다. 이 때 연소가 시작되고 5분 후 터널 라이닝에 작용한 열온도가 1,200도에 도달했다. 이는 독일RABT(Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straß entunneln)과 RWS(Rijks WaterStaat)의 화재이력곡선과도 부합된다. 실험에 의하면 1200도에 도달하면 콘크리트 일부가 용해하고 탈락하는 현상이 있다고 보고되고 있다. 이렇게 5분 이내에 1,200도에 이르게 되면 주변의 방제시설이 제 기능을 하기 어렵고 구난자들의 접근이 불가능하다. 또한, FHWA(Federal Highway Administration)보고에 의하면 터널 내에서 위험물질의 화재로 인한 발화 열이 100 MW이상이고 341 Btu이상으로 예상하고 있다.

마. 우리나라

우리나라의 감사원 감사보고에 의하면 공용 또는 건설 중인 총 438개소의 터널에 대하여 피난연결통로 등의 설치 실태를 확인한 결과, 353개소의 터널의 경우 피난연결통로 또는 피난처를 아예 설치하지 않았고, 피난연결통로를 설치한 나머지 85개소의 터널의 경우도 통로를 237 m부터 750 m의 간격으로 설치하여 화재가 발생할 경우 안전하게 대피하기 전에 질식할 가능성을 안고 있다.

7. 터널안전관리 및 운영을 위한 방안

위에서 상정한 실험이나 실제의 사례를 참고하여 터널 내 화재 등의 사고에 대비하여 고려해야 할 사항을 몇 가지로 정리하면 다음과 같다.

7.1. Communication의 중요성

비상시 효과적인 정보를 제공하는 것은 무엇보다 중요하다. 고타르 터널의 경우 대부분의 운전자들이 자동차 엔진을 켜 놓은 상태로 차를 탈출했다. 그리고 터널 밖의 운전자에게 아무런 정보가 없어 계속 자동차가 터널 안으로 진입하였다. 운전자들이 감각적으로 사고를 느끼고 다급한 심리적 현상으로 규정과 전혀 다른 행동을 취하였다. 이 경우 정확한 정보를 신속히 제공하였을 경우 운전자들이 터널 안으로 진입하는 것을 방지할 수 있었을 것이고, 운전자들이 두려움 없이 안전한 탈출이 가능했을 것이다.

7.2. 비상작전훈련

터널관리자들이 신속하고 세밀한 작전을 수행하기 위하여는 홍콩의 크로스 허브 터널에서 알 수 있듯이 비상시를 대비한 훈련이 터널관리자들이나 터널을 이용하는 운전자들에게 절대적으로 필요하다. 소방연습은 운전자들에게 불편을 주고 비용도 소요되는 것이지만, 소방능력을 크게 하는 유일한 방법이다. 크로스 허브 터널 사고 후 2층 버스의 충돌로 인한 화재를 상정해서 소방비상연습을 실시했다. 앞으로 이런 연습과는 별도로 터널관리자들이 화재로부터 운전자들을 구호하는 방법과 절차를 개발하고 인간심리와 행동에 기초한 정확한 대피를 유도할 수 있는 지식을 준비해야 할 것이다.

7.3. 스프링쿨러시스템

스프링쿨러는 A86도로터널(프랑스)에서 실시한 실험결과로부터 많은 장점을 가지고 있음을 확인할 수 있고, 이 외에도 진압된 불의 잔해나 목재 종이 섬유고형물질의 화재에는 탁월한 효과를 보이며 또한 화재로 인한 열로부터 터널구조물을 보호한다. 특히 수중 터널이나 지하수면 보다 낮은 연약지반 하를 통하는 Shield Tunnel의 경우는 터널구조물(Segment)이 열로 인하여 손상을 받아 붕락할 경우 지하수와 토사의 유입으로 대형침수사고를 발생하여 큰 참사를 불러 올 가능성도 있고 복구도 어렵다. 따라서 터널구조물을 열로부터 보호해야 하는 새로운 문제에 대하여도 대응되는 방안임으로 스프링쿨러의 채용이 권장된다.

8. 결 론

터널 내 방재를 획기적으로 개선하고, 불가피하게 화재 등의 사고가 발생했을 경우 피해를 최소화 하기 위하여는 앞에서 상정한 국·내외의 사례를 포함하여 최신의 공학적 기술적 문제를 최대한 상정하고 적용할 필요가 있다. 또한, 터널 운영에 대하여도 구체적으로 예상 가능한 모든 문제점을 상정하여 구난의 시스템을 구축할 필요가 있다. 동시에 연장 6 km 이상의 장대 터널에서는 사고를 당한 운전자나 승차자의 심리적 긴장감을 완화시켜 안전하게 위험지역에서 탈출할 수 있게 하기 위하여는 일부 터널 내 시설기준과 운행기준을 재검토할 필요가 있다. 그 내용은 다음과 같다.

- 1) 도로터널 내에서 자동차 속도를 규제하는 특별규정을 만들고, 이를 감시하는 장치를 설치하여 추월, 과속 등을 방지할 필요가 있다.
- 2) 터널 내 화재발생 즉시 터널 전방 및 터널입구, 터널 내 일정거리마다 전광판을 자동감지기능에 의하여 표시되도록 하는 설비가 필요하다.
- 3) 대피로의 간격을 화재발생 후 4분 정도 이내에 안전하게 대피할 수 있도록 안전거리 200 m를 기준하여 설치한다.
- 4) Jet Fan인 경우 연기의 역류현상을 막는 설비가 필요하다.
- 5) 터널 시공재료를 특히 화재에 비교적 안전한 증명된 재료를 사용한다.
- 6) 연장 6 km 이상인 장대터널에는 길이에 따라 위험물을 적재한 LORRY 등은 자동차에 화재자동감지기기를 강제적으로 장착하게 하는 등 통행에 일정한 제한을 강제하고, Risk Analysis를 통하여 통행여부를 결정하는 규정을 만든다.
- 7) 연장 3 km 이상인 장대터널인 경우 스프링쿨러는 화재시 주변 온도를 낮추어 구난자의 접근을 용이하게 하고, 사고지점의 운전자가 대피할 수 있는 시간을 연장할 수 있게 하는 등 많은 장점이 입증됨으로써 도입을 적극 검토한다.
- 8) 적어도 1시간 이내에 병원에 도착할 수 있도록 터널방재 관리시스템을 구축(자체, 소방서, 병원, 호송 앰블런스, 구난자 단체 등) 한다.
- 9) 터널길이 6 km 이상인 장대터널인 경우 두 터널간의 연락갱구 외에 일정시간 긴급대피가 가능한 대피소나 별도의 대피통로를 건설한다.
- 10) 운전자의 과속방지, 안전벨트 착용, 대피방법 등 안전교육을 실시하고 터널 내 설치되어 있는 방재시설을 안전하게 사용할 수 있도록 주기적으로

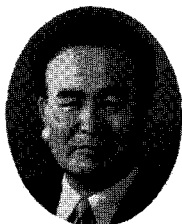
방재시설물 조작교육을 실시한다.

- 11) 도로터널 비상용시설 설치기준을 현행의 터널길이 별로 규정하고 있는 것을 터널길이와 자동차 통행량을 연계하여 규정할 필요가 있다.

참고문헌

- 1. 한국도로공사 도로설계요령 제4권 터널 편.
- 2. 소방 법 및 방재시설기준
- 3. UNECE, 2001.,Recommendation of UN Group of Ex-

- perts on Safety in Road Tunnels.
- 4. UNECE, 2002., Safety in European Road Tunnels.
- 5. Second International Symposium, Lausanne.,M.Molag, IJM.,2006.,Risk Assessment Guidelines for Tunnels.
- 6. H.Mashimo, 2003., State of the Road Tunnel Safety Technology in Japan.
- 7. AASHOTO Strategic Highway Safety Plan.
- 8. W, K Chow, Jojo S,M,Li, 2001 January., Tunneling and Underground Space Technology.
- 9. THE HIGHWAY AGENCY OF UK, Design of Road Tunnels(Planning, Safety, General Design Consideration).



박정주

1965년 부산대학교 공과대학 토목공학과
공학사
1993년 연세대학교 공학대학 토목공학과
공학석사
2002년 울산대학교 공과대학 토목공학과
공학박사
Tel: 02-3416-6810
E-mail: jjoopark2000@hanmail.net
현재 한국해외기술공사 도로교통기술원
부회장