터널 방재의 최근 동향

김시격
(주)용마엔지니어링
터널부 상무

신태균
유원엔지니어링(주)
설계부 상무

1. 서론

1.1 터널 방재의 필요성

20세기에 들어 산업이 발달함에 따라 물류를 운송하기 위해 도로 및 철도 수요가 점진적으로 증가하여 왔다. 최근에는 도로 및 철도의 고속화와 지형적 특성에 따른 장대 터널의 건설이 증가하고 있어 터널내에서 사고 발생 가능성이 높아지고 있는 것이 현실이다. 1999년 발생한 Mont-Blanc 터널, Tauern 터널과 2000년 발생한 오스트리아 키츠슈타인호튼산 산악터널의 화재사고 이후 유럽을 중심으로 장대터널의 화재안전 대책이 강화되고 있는 추세이다. 우리나라의 경우 비교적 큰 사고가 발생되지 않다가 2003년 2월 대구 지하철 참사가 발생된 이후 철도터널 방재가 사회적으로 큰 관심을 불러일으키게 되었으며, 경부고속철도의 운행이 시작되면서 장대터널 화재안전대책 수립 요구가 절실해지게 된 것이다. 터널은 일반 노반 또는 토공구간 보다는 사고발생 확률이 낮지만 일단 화재 등 사고가 발생되면 폐쇄된 공간이라는 조건하에 대형사고로 이어질 가능성이 크기 때문에 터널 화재를 대비하여 많은 안전 장치를 구축하여 화재로부터 피해를 경감시킬 수 있도록 해야 하는 것이다.

1.2 터널내 사고 사례

세계 각국의 터널내 사고를 살펴보면 도로뿐 아니라 철도에서도 많은 화재사고가 발생되고 있으며 사고 유형을 살펴보면 도로터널에서는 차량충돌이 가장 비율이 높고, 철도터널에서는 화재사고가 주류를 이루고 있는 실정이다.

2. 해외 터널 방재 동향 분석

2.1 도로터널

도로터널 방재 계획시 주요 권장사항을 PIARC, UN/ECE, NFPA 502, 일본을 중심으로 살펴본 후 최근 동향을 분석해 보기로 한다.

표 1. 터널내 주요 사고사례 분석

발생년도	국 가	터 널 명(역사명)	사 고 원 인	피 해 상 황
1969년	일 본	대청수 터널	용접 불꽃	사망 16명
1972년	일 본	북륙 터널	식당차 누전	사망 30명, 부상 714명
1978년	스 페 인	콘고치나스 터널	탱크열차 폭발	사망 7명, 열차전소
1979년	미 국	샌프란시스코 해저터널	회로 차단기 고장 발화	사망1명,부상10명,차량5량전소
1987년	영 국	킹스 크로스 지하철역	목재 에스컬레이트에서 발화	사망 31명, 부상 50여명
1995년	아이젠바이잔	Baku	고압선에서 발화	사망 340여명, 부상 270여명
1999년	프 랑 스	Mont Blanc 터널	트럭에서 발화	사망 39명
1999년	오스트리아	Tauern 터널	화물차와 자동차 충돌	사망 12명
2000년	오스트리아	키츠슈타인호른 터널	객차에서 발화	사망 153명
2001년	한 국	장지 터널	승용차 충돌사고	사망 1명, 중상 4명
2003년	한 국	대구 지하철	방화	사망 197명, 부상 146여명

몽블랑 터널 화재직후 터널 내부　　고타르 터널 화재시 터널 내부

그림 1. 터널내 사고 관련 사진

2.1.1 PIARC(Permanent International Association of Road Congresses), 1999

터널 방재 계획시 PIARC에서는 표 2와 같은 사항을 권장하고 있다.

2.1.2 UN/ECE(United Nations Economic Commission for Europe)

유럽 연합 경제 위원회 산하 내륙수송위원회(Inland Transport Committee) 내 전문가 그룹인 Ad Hoc Multidisciplinary Group에서 2001년 12월 도로 터널의 안전에 관련된 요구사항을 제안하였다. 여기에서는 도로 터널의 안전에 영향을 주는 요소를 ① Road users ② Operation ③ Infrastructure ④ Vehicles로 구분하여 각각의 세부적인 권장사항이 제시되어 있으며, 터널사고의 주요 원인은 터널 이용자들의 그릇된 행동(human error)이라고 지적하고 있다.

UN/ECE에서는 방재계획과 관련된 PIARC의 권장사항을 대부분 수용하고 있으며 여기서는 상이하거나 언급되지 않은 주요 내용을 표 3에 정리하였다.

2.1.3 NFPA(National Fire Protection Association) 502

NFPA 502 중 Standard for Road Tunnels, Bridges, and other Limited Access Highways(2001.

표 2. PIARC(Permanent International Association of Road Congresses), 1999

항 목	권 장 사 항
대 피 시 간	– 정상 보행속도는 약 1.5m/s 정도 – 연기가 존재할 경우 보행속도는 0.5~1.0m/s – 일반인의 신체 피부노출 한계치는 2~2.5KW/m^2 이며 소방관은 5KW/m^2 까지 가능하지만 작업시간은 30분 이내여야 함
허 용 온 도	– 대피자가 15분간 견딜 수 있는 온도는 80℃ 이하로 유지되어야 함
최소 가시도	– 연기가 찬 상황에서 대피할 수 있는 가시거리는 7m 이상, 표지판을 인식하기 위해서는 15m 이상을 확보해야 함
설비물의 손상 및 화재저항	– 중요한 시설물은 400~450℃에서 손상되지 않아야 하며, 화재진압 장비들은 충분한 내화능력을 지녀야 함

표 3. UN/ECE(United Nations Economic Commission for Europe)

항 목	권 장 사 항
비상출구	– Single tube tunnels : 비상출구 건설에 대한 경제적, 기술적인 면을 고려하되 화재 시나리오 분석을 통해 대피자의 안전이 보장될 경우에는 터널 갱도 자체가 비상출구로 사용될 수 있지만 만약 이를 입증할 수 없다면 비상탈출로는 설치되어야 함 – Twin tube tunnels : 비상출구로서 피난연결통로(cross passageways)의 이용을 권장하고 있으며, 연기확산을 차단할 수 있는 적절한 대책(방화문)이 있어야 함
피난연결통로	– 터널의 종단경사는 가능한 한 5% 미만으로 할 것 – 쌍굴터널의 피난연결통로의 경우 차량용은 600~1500m, 대인용은 200~500m 간격으로 할 것
화재 설계시 고려사항	– 화재 설계시 화재규모는 30MW로 가연성 없는 중차량으로 하며 Flashover에 도달하는 시간은 10분, Smoke 생성량은 80CMS, 지속시간은 60분 이상으로 함
위험도 분석	– 양방향 터널내 종류식 환기시스템을 적용할 경우에는 최소한 교통량, 통행방식 및 터널 제원이 포함된 위험도 분석을 통한 안정성이 제시되어야 함

표 4. NFPA(National Fire Protection Association) 502

항 목	권 장 사 항
피난연결통로 간격	– 쌍굴터널이나 최소 2시간의 내화구조에 의해 나누어진 곳은 양터널사이에 탈출구 대신 사용할 수 있는 피난연결통로를 200m 이내로 설치하여야 하며 개구부는 1시간 이상 내화성능의 방화문을 설치하여야 함 – 모든 탈출구나 피난연결통로에는 명확한 표지판이 있어야 하며 터널내 상향통로인 경우에는 guardrails이 있어야 함
방 화 문	– 피난연결통로의 문은 양방향으로 열리도록 하여야 하며 최소 1시간 이상 내화성능을 가진 방화문이어야 함 – 방화문을 여는데 필요한 힘은 222N 이하이되 가능한 한 낮아야 하며 차량통행으로 인한 압력에 견디도록 설계하여야 함
터널 환기설비	– 터널 연장이 240m를 초과하더라도 공학적 분석결과 피난성능에 지장이 없는 경우에는 강제환기설비가 요구되어서는 안된다.
비 상 전 원	– 사고영향을 최소화하기 위해 예비전원을 연결하여야 하며, 조명은 0.5초 이상 차단되지 않도록 하고 터널내 조도는 3lux 이상으로 한다.

11) 코드에는 비상출구, 비상통신, 터널내 조명 및 터널환기의 기술적 변화가 규정되어 있다.

NFPA 502는 터널연장이 90m 이상이면 연결송수관(fire standpipe)과 교통통제 시스템 설치를 권장하고 있으며, 300m 이상일 경우에는 이 기준을 적용하는 것으로 되어 있는 바 주요 내용은 표 4와 같다.

2.1.4 일본

일본은 전국토의 70%가 산악지대로 옛부터 많은 터널이 건설되고 있으며 도로터널의 총 연장이 약 2600km에 달하고 있어 도로터널의 방재에 관해 큰 관심을 보이고 있다.

특히, 1967년 발생한 鈴鹿(SUZUKA)터널 화재사고의 계기로 국가수준의 안전기준이 제정되고 그후 지금까지 여러가지 경험을 토대로 개정되어 왔다.

설치기준은 방재상 위험도를 교통량과 터널 연장에 의해 분류하여 이에 상응하는 각종 설비를 설치하고 있는데 주요 내용은 표 5와 같다.

2.1.5 최근 도로터널 방재 동향

도로터널의 경우 1990년대 이전까지 각 국가별, 기관별로 환기 및 방재기준을 수립하여 적용하였는데, 1993년 9월에서 1995년 3월에 걸쳐 미국 West Virginia의 Memorial 터널에서 실시한 터널 화재 실험(The Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program)을 계기로 각종 환기방식에 대한 종합적인 평가가 이루어지면서 환기방식 변화의 계기가 되었다. 이후 각종 연구와 실험을 거듭하다가 Mont-Blanc 터널(1999. 3), Tauern터널(1999. 5) St. Gotthard터널(2001. 10) 등의 대형화재 사고가 발생된 이후 터널 안전에 관한 관심과 대책이 강구되고 있는 추세이다.

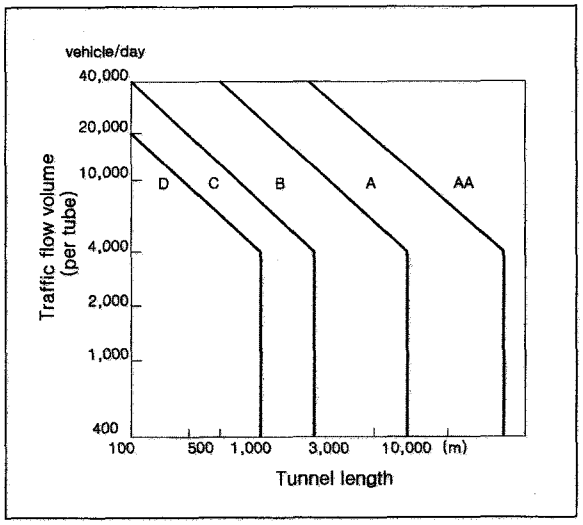

그림 2. 터널의 분류

표 5. 터널 등급별 비상용 시설

비상 설비 \ 터널 등급		AA	A	B	C	D
통보 · 경보설비	비상전화 및 통보장치	○	○	○	○	
	화재 감지기	○	△			
	비상 경보장치	○	○	○	○	
소화설비	소 화 기	○	○	○		
	소 화 전	○	○			
피난유도설비	유도 표지판	○	○	○		
	배연설비 또는 피난통로	○	△			
기타설비	급수전 및 스프링 쿨러	○	△			
	무선통신 보조설비 및 감시설비	○	△			
	라디오 재방송 설비 또는 확성방송설비	○	△			

Note : ○ → 반드시 설치 △ → 필요시 설치

또한, 지형적 여건, 경제규모, 국민의식 수준 등 여러가지 여건에 따라 각 국가별로 기준이 상이하여 최근에는 PIARC, UN/ECE와 같은 전문가 그룹에서 제안하고 있는 기준들이 비교적 설득력을 얻는 것으로 평가되고 있다.

2.2 철도터널

도로터널에 비해 철도터널에 대한 방재기준들이 비교적 유사한 경우가 많은데, 대표적인 지침서인 UIC, UN/ECE, 프랑스 기준을 중심으로 살펴보기로 한다.

2.2.1 UIC(Union Internationale de Chemin de Fer) Codex 779-9, 2003. 8

국제 철도 연맹(The International Union of Railways)이라 불리우는 UIC는 2001년~2002년에 걸쳐 대부분의 유럽철도 소유권자와 운용회사를 포함한 14명으로 구성된 실무위원회에서 「철도터널의 안전」이라는 지침서를 마련하여 많은 유럽국가들의 근간이 되고 있는데, 주요 내용을 요약하면 표 6과 같다.

2.2.2 UN/ECE(United Nations Economic Commission for Europe), 2003

유럽 연합 경제 위원회에서는 2001년 12월 도로터널에 관한 「Recommendations of the group of experts on safety in road tunnels」의 최종 보고서를 제출한 다음 2003년 12월에 「Recommendations of the multidisciplinary group of experts on safety in tunnels (Rail)」를 발표하였는데, UIC 779-9와 유사한 내용이 많은 편이다(표 7 참조).

표 6. UIC Codex 779-9 내용 요약

구 분		주 요 내 용	비 고
안전에 관한 일반원칙		사고예방→사고영향 경감→대피촉진→구조촉진	기반시설+차량 +운용규정
적 용 범 위		연장 1km 이상 15km 이하의 철도 터널	혼합 운송조건
신규터널에 권장하는 안전대책	사고예방	속도 감시 및 신호시스템, 열차무선 통신 시스템, 차량재료의 난연재 사용, 위험화물열차는 여객열차와 터널내 교행 금지, 운용규칙, 방화대책, 출입통제	우선적인 목표
	사고영향 경 감	소화시스템, 통신장비 구축, 뒤따라오는 열차의 운행중지, 비상 브레이크 중립유지, 연기배출시스템/환기시스템, 화재/연기탐지기, 선로배수시스템, 에어콘의 중앙제어, 열차내 응급처치 장비설치, 단선병렬 터널 설치	사고 발생시 충격을 최소화 시킴
	대피촉진	대피로, 비상출구 확보(500~1000m), 비상조명, 비상전화, 승객에게 비상사태 통지, 열차 승무원 자질 향상, 대피장비 및 객차설계, 교차통로	인명피해 최소화가 최우선임
	구조촉진	용수공급, 입 · 출구부 진입로, 입 · 출구부 구조공간 확보, 구조장비의 공급, 정기적인 훈련 실시, 전기시설물의 신뢰성, 구조용 철도차량, 구조용 도로/철도차량, 비상구조계획	
기존터널에 권장하는 안전대책		비상출구 간격(1000m)을 만족시키지 못할 경우 터널 내부 탈출조건을 개선하고, 수직출구 또는 유사한 안전대피장소를 설치하여 탈출거리를 단축시킬 수 있는 대책 수립, 승객 대피를 위한 구조 수송수단 동원 강구	대피시설의 업그레이드가 중요

표 7. UN/ECE, 2003 내용 요약

구 분		주 요 내 용	비 고
안전에 관한 일반원칙		사고예방→사고영향 경감→대피촉진→구조촉진	기반시설+차량 +운용규정
적 용 범 위		1000m 이상의 신규/기존을 포함한 모든 철도터널	혼합 운송조건
신규터널에 권장하는 안전대책	사고예방	– 여객전용인 고속철도의 경우 복선터널이 바람직하며, 혼합운송의 경우에는 단선병렬 터널이 적합함 – 속도감시 및 신호시스템, 위험물질 운송규제, 화재 감지기	우선적인 목표
	사고영향 경 감	소화시스템, 화재/연기배출시스템, 환기시스템, 비상 브레이크 중립 유지, 열차를 터널 밖으로 끌어냄	사고 발생시 충격을 최소화 시킴
	대피촉진	대피로(handrail 설치), 비상출구 간격(500m) 비상조명, 비상전화, 승무원 교육, 비상사태 통지	비상 출구는 병렬 터널 규정임
	구조촉진	터널 입출구부 구조지역, 소방 및 구조활동에 필요한 용수공급, 구조장비의 공급, 입출구부 진입로	
기존터널에 권장하는 안전대책		각 국가별로 비용/편익 효과를 분석하여 적절한 기준을 수립하되 차량(Rolling Stock)과 운용규정(Operations Measures)에 관련되는 사항은 최소한 지켜져야 함	차량의 난연성 재료 사용과 운행조건의 적정성

표 8. 프랑스 안전 시설기준 요약

구 분	주 요 내 용	비 고
기본원칙	– 화재 발생시 인명피해를 최소화하기 위한 대피 및 구조 시설물을 설치해야 함 – 비상시 상황을 탐지하고 외부와의 통신을 보강해야 함	
적용범위	총 연장이 400m 이상 10km 이하인 신설 철도 터널	기존 터널 제외
운행형태	도시노선, 여객전용 노선(TGV), 여객화물 겸용 노선으로 구분	도시노선이외는 산악터널
주 요 안전대책	– 위험물질 수송이 허용된 터널의 구조물의 내화성이 강조됨 – 도심지 터널은 건식 또는 습식의 소화수 공급이 보장되어야 하며 산악터널은 결빙방지 시설물 및 물탱크 설치가 의무적임 – 비상 출구의 경우 도심지 터널은 800m 이내이나 산악터널은 규정이 없음 – 산악터널의 경우 구조활동용 트로리를 터널 입출구부에 두개씩 배치해야 함	

2.2.3 프랑스

프랑스에서 1990년대 후반 고속철도 신설 및 도심지 철도 프로젝트 연구로부터 새로운 터널내 안전에 대한 개념을 정립한 것이 「철도 터널내 안전관련 시설기준 (Instruction Technique Interministerielle Relative a La Securite Dans Les Tunnels Ferroviaires. N°98 300 Du 08 Juillet 1998)」으로 도시노선 터널이나 위험물질이 운송되는 연장 5km 이상의 터널에서는 구조물의 내화성, 소화수 공급 등의 규정이 엄격하게 제한되고 있으며, 표 8에서 UIC와 상이한 규정을 중심으로 살펴보기로 한다.

2.2.4 철도터널의 최근 동향 분석

과거의 철도터널은 안전개념의 미흡과 경제성의 이유로 비상출구가 없는 복선터널들이 많이 건설되었는데 터널내 대형화재 사고가 빈번해짐에 따라 최근에 계획되는

표 9. 철도터널의 비상출구 간격 기준

국 가	규 정	년 도	간 격	비 고
UIC	UIC 799-9	2002년	500~1000m	- 신규터널 중 지하철인 경우 500m 산악터널은 1000m - 기존터널은 비상출구를 업그레이드 권장
독 일	BOStrab	1987년	600m	지하철 기준
	EBA	1997년	1000m	일반철도의 비상출구
프랑스	N°98 300	1998년	800m	- 도심지 터널(지하철) : 800m - 산악터널 : 규정없음
미 국	NFPA 130	2000년	244m	지하철 기준
일 본	화재운영법	-	-	특별한 규정 없음

장대터널은 터널내 안전개념이 강화되고 있는 실정이다. 그중에서도 비상시 대피가능한 출구(수직/수평 출구, 연결통로 포함)의 간격이 큰 관심사로 대두되고 있는데 선진 외국의 기준을 보면 일반적으로 도시철도와 같이 승객이 복잡한 도심지 터널은 엄격히 제한되고 있는 반면 승객수를 제한시킨 산악터널의 경우에는 기준이 완화되거나 없는 경우도 있다(표 9 참조).

이는 각 국가별로 국가의 안전개념, 경제규모, 지형적 특성 등이 상이한데에서 그 원인을 찾을 수 있으며 기존 터널의 경우에는 운행하면서 시설물을 보완해야 하므로 그 한계가 있다고 하겠다.

3. 우리나라의 터널 방재기준 및 동향

3.1 도로 터널

국내 도로터널 방재기준은 한국도로공사에서 제정(1998,2)한 방재시설기준이 건설교통부 도로설계편람(1)의 방재기준에 모체가 된 결과가 되어 전국 도로 터널의 표준이 되고 있으며, 이는 소방법 등을 고려한 터널 안전에 관한 방재등급과 기준을 터널 연장으로만 구분하여 7등급으로 구분하고 있다. 이것은 한국도로공사가 일본도로공단의 기준을 근간으로 하여 만든 자체 기준으로서, 터널 연장에 의한 분류방법인데 소방법의 방재개념이 인간생명을 최우선으로 하는 최근의 방재개념을 고려 할 때 부분적으로 보완해야할 것으로 일부 기관평가에서 지적되었다. 이에 부응하여 건설교통부에서 2004년 출간을 목표로 '도로터널 방재시설(비상시설) 설치기준 및 유지관리매뉴얼'을 개정하고 있으며, 여기에는 1km 미만의 터널에 대한 방재설비도 더욱 강화될 예정이고, 피난연결통로 간격과 화재 감지기 설치 연장 등이 개정될 것으로 알려지고 있다.

또한, 2004년 5월 29일자로 소방법 시행령(대통령령 18404호)이 개정되었는데 터널에 대한 주요 내용은 소화기와 소화전의 간격을 일률적인 50m로 규정하여 터널별로 달리 설치되었던 소화기구 설치간격의 혼란을 해소한 것으로 평가되고 있다.

3.2 철도터널

철도터널은 크게 고속철도, 일반철도, 도시철도(지하철) 등으로 분류되는데 경부고속철도의 개통에 부응하여 고속철도 터널 방재 기준이 2003년 11월 20일 관보에 공고되었으며, 2005년 초에 고속철도 설계기준(노반편)에 수록되어 발간될 예정이다. 여기에는 여객전용인 복선 고속철도의 터널 방재 기준만 기술되어 있고, 일반철도나 도시철도의 경우에는 현재 기능적 특성에 적합한 기준을 수립하는 중으로 알려져 있다.

대부분의 개발도상국이 그렇듯이 우리나라의 철도터

널도 2003년 2월 대구지하철 참사 이전에는 철도 터널 방재에 대한 관심이 크지 않았던 것이 사실이다. 기존의 터널들이 대부분 방재시설을 갖추지 못하고 있기 때문에 지금부터라도 터널 연장, 사용형태 등에 따른 기준을 구축한 다음 예산과 기준에 적합하도록 개선해 나가야 할 것으로 판단된다.

4. 맺음말

터널내 사고를 포함하여 국민들의 생명을 위협하는 안전에 대한 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않는다고 말할 수 있을 것이다.

그러나, 터널 방재에 대한 기반시설이나 인프라 구축에는 반드시 국가와 국민들의 안전개념, 비용/편익효과, 위험도 분석 등이 고려되어야 하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

철도가 개통된 지 일세기가 넘어서고, 고속도로에 자동차가 달리기 시작한지 반세기가 다가오고 있는 즈음에 아직 터널 방재에 대한 기준이 정립되지 않은 점은 부끄러운 일이나, 최근 이 분야의 활발한 연구와 노력이 우리나라 터널 기술 발전에 초석이 될 것으로 확신하는 바이다.

특히, 2004년 6월 1일 소방방재청이 국가 기관으로 발족됨에 따라 자연재해 뿐 아니라 시설물 방재에 관한 많은 연구와 기준이 재정립 될 것으로 크게 기대하는 바이다.

참고문헌

1. 장대철도 터널 화염방재기술 및 환기공조 시스템 개발, 2003. 8. 29 건설교통부 한국 건설 교통 기술 평가원
2. 제3회 터널 시공기술 향상 대토론회 논문집, 2003. 12 대한토목학회
3. 고속도로 터널 환기시설 설계기준, 2002. 10 한국도로공사
4. 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령, 2004
5. 29 행정자치부
5. 설계요령 제3편 터널, 1997년 일본 도로공단
6. UIC 779-9 Safety in Railway Tunnels
7. INSTRUCTION TECHNIQUE INTERMINISTERIELLE RELATIVE A LA SECURITE DANS LES TUNNELS FERROVIAIRES N°98 300 DU 08 JUILLET 1998
8. Recommendations of the group of experts on safety in road tunnels, final report, 2001 UN/ECE
9. Recommendations of the multidisciplinary group of experts on safety in tunnels(Rail), 2003 UN/ECE
10. Classification of tunnels, existing guidelines and experiences, Recommendations, 1995 PIARC
11. NFPA 502 Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways, 1998 Edition
12. Safety in Road and Rail Tunnels, Fourth International Conference, Madrid 2~6 April 2001
13. Permanent International Association of Road Congresses, PIARC 1999