

철도터널 안전설비 설치 사례 연구

the case study of installation for the safety of railroad tunnel

김선홍¹ 김동기¹ 남영석² 조형제² 김종원³
Sun-hong Kim Dong-Ki Kim Myong-suk Nam Hyeong-je Jo Jong-won Kim

ABSTRACT

Safety requirement or guidance have been developing for a long time in the UIC, Germany, France, and Japan etc. Also, In Korea, the Ministry Construction & Transportation make an progress about this issue. document, called "railroad tunnel safety standards 6th draft", was developed. In this paper, we'll show standard of other country and compare with Korea draft. next, we'll show some kind of railroad safety facility and installations and explain a relationship of safety issue and standards

1. 서론

현재 국내 철도산업은 고속철도의 개통을 맞이하여 새로운 전환기를 맞고 있으며, 남북 철도연결 디나아가 아시아와 유럽을 연결하는 "철도 브네상스"를 꿈꾸고 있다. 산악지대가 많은 국내 지형특성상 철도교통의 시간단축을 위해 많은 터널이 건설되고 있는 실정이며, 이러한 철도터널의 증가는 안전하면에서 매우 물리적인 환경을 제공하므로 이에 대한 적절한 대책이 요구된다.

오스트리아 Kizstrinhorn 화재사고, 아제르바이잔 Baku 화재사고 등의 사례를 통해 철도터널에서의 사고는 승객의 안전에 매우 심각한 위협이 된다는 것을 알 수 있다. 따라서 터널내의 화재사고 같은 불안정한 상황 발생시 승객의 안전을 어떻게 확보할 것인가에 대한 관심이 주요 문제로 대두되고 있다.

철도터널의 안전을 확보하기 위해 세계철도연맹(UIC)이나 유럽(독일, 프랑스, 이탈리아 등), 일본은 우리에게 앞서 자국의 실정에 맞는 철도터널내의 안전기준을 마련하였으며, 최근 국내에서도 건설교통부에서 "철도터널 안전기준"을 작성하고 있다.

본 논문에서는 국내의 철도안전기준을 비교·고찰하고, 실제사례를 통해 방재집토 내용 및 방재시설의 적용현황을 소개하고자 한다.

2. 각국의 철도터널 안전기준

본 절에서는 세계철도연맹(UIC), 독일(EBA), 이탈리아(RFI), 프랑스, 일본에서 작성한 철도안전 기준 또는 지침에 대하여 기술하고 현재 건설교통부에서 검토되고 있는 "철도터널 안전기준 (6차 초안)"을 세부적으로 분석하고자 한다.

1 : 유신코퍼레이션
2 : (주)코오롱건설
3 : (주)빙광종합기술

Table 1 각국의 철도터널 안전기준 비교

방재시설	UIC 779-9	EBA	RFI	프랑스	일본	국내기준
터널형식	-안전,건설,운송의 복합기준에 따라 결정	-장대터널: 단선형 -터널이 좋음	-1km 미만: 복선 -단팔이 권장 -2km 이상: 단선 -병렬터널 고려	-	-	-
화재연기 감지설비	-다양한 탐지시스템 이용가능	-	-신규터널: 250m -간격으로 설치	-	-500m 간격 설치	-터널,기계실: 다양한 시스템사용 가능 -기계실비실 화재 감지기 장착권고
소화시스템	-주터널은 소화시스템을 설치하지 않을 것을 권장.	-용수공급 참조	-용수공급 참조	-	-역 사이 거리가 긴 경우 연결 송수관을 설치	-자동소화시스템: 예민한 기계설치 격실에 설치 권장
연기배출 환기시스템	-주터널의 규정사항 없음 -안전대피장소: 연기감투를 최소화 하도록 설계	-	-강제환기장치외 기원은 검토하지 않는 것이 요구됨 -안전 및 역효과 우려 있음	-도시노선터널 및 위험물철 또는 규정용량운송의 5km이상 터널은 배연이 의무적임	-승객 안전피난시간을 7분으로 잡고 터널환기장치외 환기용량을 결정	-도시노선터널 및 위험물철 또는 규정용량운송의 5km이상 터널은 배연이 의무적임
대피로	-최소폭: 70cm -최적폭: 1.20m -복선터널은 터널 양측면에 설치	-대피로의 최소높이: 2.2m -폭은 최소 1.2m	-보행로: 최소 85cm이고 120cm 양호 -미끄럼방지 고려.	-인도폭: 최소0.7m, 높이 2m가 되어야 함 -복선터널의 경우 터널양측에 설치	-안전대피시설: 1000명 정도 수용토록 설계 -보행근란자를 위한 인허거 설치	-최소폭: 70cm -최적폭: 1.20m -복선 터널은 터널 양측면에 설치
대피거리	-안전대피 장소간의 거리: 1,000m	-지하철 및 일반터널에서는 500m 간격(지하철은 300m)으로 탈출구(안전지대)가 있어야 함.	-2000m를 초과하지 않아야 함.	-	-500m를 초과하지 않아야 함.	-안전에 영향을 미치는 모든 변수들의 평가하에 결정
수리탈출구	-최대 높이 : 30m -계단 폭: 1.2 m	-최대높이: 60m -30m이상시, 계단이외에도 엘리베이터를 설치	-	-	-	-최대 60m 미만의 수직경을 설치 -30m 이상시 엘리베이터 추가 -계단폭: 1.2m
경사탈출구	-2.25mx2.25m -최대길이: 150m 기준, -더 길 경우 도로차량이 진입할 수 있어야 함	-2.25mx2.25m -대피수직경 연장시 150m미만 -대피횡경길이 300m이상: 차량운전	-간급구조에 적합한 치수를 확보 (평균폭 6m, 평균높이 5m 이상)	-	-	- 2.25mx2.25m -경사도: 10%미만 -최대 150m 기준 -초과시 차량전입이 가능해야 함
비상조명	-복선 터널: 양쪽에 설치 -높이: 가능한 낮게 설치 -가시도가 나쁜 상태에서 안전보행 가능	-3시간 동안 규정 조명 밝기를 유지 -최소조도 0.5 Lux	-높이 2m 이하이어야 함 -방광면 1m 높이에서 5 Lux 의 조도 확보 -125m마다 스위치 설치	-최소 1시간, 최소 2축스의 밝기를 보장해 주는 B타입의 비상조명 설치	-안전 대피 장소까지 100 Lux 정도외 비상용 전원으로 백업된 조명이 설치	-복선 터널: 양쪽에 설치 -3시간 동안 규정 조명밝기 유지 -최대 125m 간격 -입구 250m 간격
터널입출구 구조지역	-전원공급장치, 조명, 통신장비의 비치/설치 -용수 공급 능력 -헬릭터트 작동장 -터널 입구로의 접근 용이	-구조 지역(공간)은 최소면적: 1500m ²	-기존 혹은 건설 중인 터널: 비상용 공간면적이 300m ² 이상 확보	-구조차량들이 정차하고 회차하기에 충분한 규모	-	-진입로 거리 최대 200m -구조지역의 최소 면적: 400m ²
용수공급	-저수지 용수 공급사 100 m ³ 의 물을 저장 -소화전: 250m간격 설치	-최소공급수: 96 m ³ -최대 125m 간격으로 소화전 설비를 설치함	-대 250m 분기 -수위레벨이 낮으면 알람작동	-도시터널 및 산악터널로 구분 적용	-연료유화제사: 최소 20분은 거품분부를 시행할 수 있도록 연력탱크와 배관 설치	-저수지 용수 공급사 100 m ³ 의 물을 저장 -소화전: 250m간격 설치
비상콘센트	-출력 단자 사이의 거리: 125 ~ 250 m.	-양측벽에 125m 간격마다 전원 접속	-터널내 전기공급이 없는 최대구간은 250m를 초과하지 않아야 함.	-콘센트가 떨어져 있는 최대거리: 200m임.	-	-출력 단자 사이의 거리: 125 ~ 250 m. -전력공급: 8KW

세계철도연맹 기준 및 독일, 이탈리아, 프랑스, 일본, 국내 안전기준은 세부적으로 다수의 항목으로 구분되어 정의되어 있어 전체적인 비교는 곤란하므로, 주요 항목을 비교하고자 한다. 개략적인 내용은 Table. 1에 나타내었다. [7]

건설교통부가 마련한 “철도터널 안전기준”은 상기 언급한 국외기준 및 국내 터널설계기준, 철도설계기준, 도시철도설계기준, 도시철도시설물 화재안전기준, 도로설계기준 및 관계법령을 종합검토하여 작성되었다. [5] 안전기준은 각 이슈에 대하여 기준과 지침으로 구분 설정하였고, 적용시 안전에 미치는 효과들 기준으로 세등급(A,B,C)으로 구분한 점이 특징이다. 이는 UIC 779-9 의 구분 항목과 유사하다. [6]

“철도터널 안전기준”이 모든 터널에 대해 구체적인 방재시설 규모를 제시할 수는 없다. 그러므로 철도터널의 방재시설은 터널의 연장, 열차의 종류 및 교통량, 지리적 위치 등을 종합적으로 고려하여 선정하여야 한다. 교통량이 많고 화물차가 함께 운행하는 터널은 방재시설을 많이 설치할 필요가 있으나, 교통량도 적고 화물차의 운행이 없는 터널은 그만큼 사고위험도가 낮으므로 방재시설의 규모를 적절하여도 무방할 것이다. 지역설비의 경우 차량의 특성에 따라 화재규모가 불려지므로 동일 연장의 터널이라도 지역설비 규모가 달라질 수 있으며, 기타 방재시설의 규모도 달라질 수 있다.

따라서, 터널의 특성 및 화재규모 등을 종합적으로 고려하여 철도터널 안전기준을 적절히 가감하여 적용할 필요가 있다.

3. 화재장도 선정

위절에서 분석한 철도터널 안전기준은 엄밀히 철도터널내 시설물, 운전대책 등을 주요 이슈로 하고 있으며, 방재설계를 위한 화재장도 등의 이슈에 대하여 특별히 기술하는 내용은 없다.

그런데, 화재크기는 방재시설의 규모를 결정하는 기본요소라 할 수 있다. 큰 화재에 대응하기 위해서는 많은 방재시설이 필요하나 작은 화재에는 적은 방재시설만으로도 적절한 대응이 가능하기 때문이다. 따라서 적절한 화재장도의 선정은 방재시설의 규모를 적절하게 선정하기 위한 필수요소이다.

국내에서는 철도터널을 운행하는 열차에 대한 실제 화재시험이 수행되지 않고 있으며, 국내자도의 미비로 인해 방재설계시 적절한 화재장도 적용에 어려움을 겪고 있다. 국외의 주요 화재 테스트로는 Eureka 499 Fire 테스트가 있다. 이 테스트는 유럽의 다수 국가가 참여한 프로젝트로 승용차, 버스, 로리, IC열차, 지하철차량 등에 대한 실제 화재 테스트를 수행하였다. [3] 철도터널 방재설계시 적용할 수 있는 Eureka 499 화재 테스트는 Inter-City Train 및 Subway Coach 화재 테스트 정도이다. 각 화재장도폭선은 다음 Table. 2에 나타내었다. 국내에도 널리 알려진 SES(Subway Environmental Simulation)테뉴 열에는 지하철 화재장도를 다음 Table.3 과 같이 언급하고 있으며 [1], 통풍 MTR에서 계산한 열기 기관차의 화재시 열방출율은 15.8 MW 로 보고되었다.

Table. 2 Eureka 499 Fire Test




	Inter-City Train	Subway Coach
Q_{max}	13.5 MW	35 MW
HRR 곡선		
비고	차식 : 80식	차식 : 40식 주리우대내 문 개기

Table. 3 SES Fire model

	Subway Fire	비고
HRR 곡선		지하철 객차 1량 방 연소시 화재장 도 규정일 $Q_{max} = 18 MW$

EUREKA 499 테스트에서 이용한 Subway Coach 는 자연성이 높은 내장재로 인해 짧은시간에 화재가 확대되고 10분 이후 화재가 급격히 축소되는 특징을 보여주고 있다. 최근 국내 지하철 화재 사고로 지하철 객차 내부 재질을 불연 재질로 교체하고 있는 상황을 고려할 때 SES에서 제시한 지하철 화재장도는 다소 과한 것으로 보인다.

국내 지하철 객차의 난연성 재질 사용 증가, 고속선에서 운행되는 Inter-City Train 의 평균화재장도 및 통풍 MTR의 열풍차 화재장도 분석 등을 종합하여 화재장도는 10MW 로 선정하였다.

4. 방재설치 사례 검토



4.1 개요

침도터널내 화재사고는 도르터널과 달리 발생가능성이 적고, 열차내 모든 승객이 위험에 처할 수 있다는 점에서 방재계획이 도르터널과는 차별화 되어야 한다. 또한, 사고발생시 열차내 방송시스템을 통해 화재 또는 기타 비상상황의 신속 전파가 가능하며, 사건에 설정된 피난대피계획에 따라 승객의 탈출방향 전달도 탈출시 승객이 상황을 인지하고 안전한 방향으로의 탈출이 가능하다. 반면에 소방차량이 화재지점까지 접근하기 곤란한 문제점을 갖고 있다. 따라서, 침도터널내의 방재계획은 터널내에서 승객이 자력으로 대피할 수 있는 환경조성과 소방대의 활동을 도와줄 수 있는 시스템의 구축을 목표로 하여야 한다.

4.2 제연의 필요성 검토

터널내 화재시 승객의 안전을 위협하는 주된 요인은 유독성 화재연기이다. 따라서, 화재연기의 확산과 피난승객의 대피시간을 분석하여 제연설비를 설치하여야 하는 것을 살펴보고 있으며, 그 결과를 아래 Table. 4에 정리하였다.

Table. 4 승객탈출 및 연기거동

승객 탈출 거동		비고	연기 확산 거동		비고
제연 그래픽		최대탈출 : 1,201 분 최종승객 대피완료 탈출시간 : 56.3 분	제연 그래픽		제연설비 제거공시, 화재발생 23 분 후 전체 승객 화재연기에 노출됨 = 승객 안전위협, 제연설비에 의한 화재연기 제거 필요



이 분석에서 화재연기는 터널중앙에 정차하여 2500 m 거리를 승객이 탈출하는 것으로 모델링하였다. 피난 분석에서, 승객의 최대 탈출시간은 56.3 분으로 나타났으며, 화재발생 23 분 후 정차시 터널내 전체승객이 연기에 노출되어 경식, 중독 등의 심각한 위험에 노출됨 것으로 나타났다. 따라서, 적정량 제연설비에 의한 화재연기의 제거가 필요하며, 대피거리의 단축도 고려되어야 할 것으로 판단된다.

4.3 입계속도 및 제연량 선정

화재연기는 터널을 통과하여 인근 경기장 또는 방재구호지역에 정차하여 승객 피난 및 화재진압을 실시하는 것을 원칙으로 하나, 부득이 터널내에 정차할 경우, 승객이 연기에 노출되어 위험해지지 않도록 적정 제연을 실시하여야 한다. 이때, 제연용량은 선정하기 위해서는 입계속도의 산정이 선행되어야 한다. 입계속도는 널리 알려진 Kennedy 식을 이용하여 산정하였다. [1] 화재강도 10MW 에 대하여, "OO 터널"에서의 입계속도는 2.24m/s 로 계산되었으며, 화재연기를 제어할 수 있는 풍량을 확보하기 위해 제연량 $\approx 1530 \times 2$ 가 필요할 것으로 분석되었다.

우리는 이렇게 선정된 제연량이 10 MW 화재출 중량을 충분히 제어할 수 있는지 여부 및 제연량 가동 후 얼마의 시간안에 제연이 이뤄지는지를 검토하였으며, 이를 아래 Table. 5에 정리하였다.

Table. 5 제연량 선정 적용성 검토

제연량 가동 경우		비고	제연 성능		비고
적용성		적용 화재강도 ≈ 10 MW 적용 입계속도 ≈ 2.24 m/s 10MW 화재출 중량에 제연할 수 있음	제연 요사		제연량 가동제거에 따른 터널내 거동분석, 화재발생 23 분 후 제연량 가동 제연된 가동 제연된 가동 5.5 분 후 터널내 중량 입계속도 이상 확보

4.4 피난 및 제연 시나리오

화재열치의 터널내 경차 후 승객은 안전한 방향으로 탈출을 개시하게 된다. 이때 초기의 열기류는 열차진행방향으로 유동하게 되며, 이는 탈출 초기시의 피난방향을 결정하는 데 매우 중요한 인자가 된다.

피난 및 제연 시나리오의 주요 골자는 연기확산이 승객의 탈출방향으로 확산되지 않도록 적정 제연을 실시하는 것이다. 다음 Table. 6에 화재발생시의 피난 및 제연 시나리오를 정리하였다.

Table. 6 화재발생시 피난 및 제연시나리오

시나리오 개요도		시나리오 개요도									
· 열차 선두부 56는 후미부 화재		· 열차 중앙부 화재									
Case1	<table border="1"> <tr> <th>피난계획</th> <th>제연계획</th> </tr> <tr> <td>· 터널내 승객화재 후 화재 확산반대방향 피난</td> <td>· 승객 대피 반대방향으로 제연운전, 화재연기 배출</td> </tr> </table>	피난계획	제연계획	· 터널내 승객화재 후 화재 확산반대방향 피난	· 승객 대피 반대방향으로 제연운전, 화재연기 배출	Case2	<table border="1"> <tr> <th>피난계획</th> <th>제연계획</th> </tr> <tr> <td>· 열차운행 반대방향 대피 (원기는 최초 열차진행방향으로 확산 ⇨ 안내방향으로 대피방향 유도)</td> <td>· 초기 제연폭 방지 (원기는 최초 열차진행방향으로 확산 ⇨ 안내방향으로 제연운전)</td> </tr> </table>	피난계획	제연계획	· 열차운행 반대방향 대피 (원기는 최초 열차진행방향으로 확산 ⇨ 안내방향으로 대피방향 유도)	· 초기 제연폭 방지 (원기는 최초 열차진행방향으로 확산 ⇨ 안내방향으로 제연운전)
피난계획	제연계획										
· 터널내 승객화재 후 화재 확산반대방향 피난	· 승객 대피 반대방향으로 제연운전, 화재연기 배출										
피난계획	제연계획										
· 열차운행 반대방향 대피 (원기는 최초 열차진행방향으로 확산 ⇨ 안내방향으로 대피방향 유도)	· 초기 제연폭 방지 (원기는 최초 열차진행방향으로 확산 ⇨ 안내방향으로 제연운전)										

4.5 대피거리 단축방안 검토

각 기준마다 대피거리 기준이 상이하나, 전철교통부의 “철도터널 안전기준”에는 대피거리를 여러상황을 고려하여 결정하도록 하는 유연성을 부가하여, 다각도로 검토후 대피거리를 결정하도록 하고 있다. 터널 내 열차화재 발생시, 대피거리가 길더라도 제연설비의 적정 가동으로 화재연기를 제어한다면 피난자의 위험성은 감소한다. 그러나, 위험공간에서의 체류시간 증가로, 제연설비의 예기치 못한 작동불가 상황이 발생된다면, 다시 위험해질 소지가 있다. 이를 극복하기 위해 권원의 이중화 및 제연권 가동 메뉴얼 작성 등이 이뤄질 것이며 또한 대피거리를 감소시키기 위한 사경을 설치하여, 화재열차의 부속이안 터널내 정차시 사경을 근접하여 정차함으로써, 피난시간을 감소시키도록 하는 계획을 모색하였다. 또한 사경내에 방화문 및 가압관을 설치하여 사경부류의 연기 및 열침투를 방지하는 등 피난 안전성을 확보하는 대책을 강구하였다.

5. 방재시설 계획

5.1 방재시설 배치 계획

“OO터널”은 “철도터널 안전기준”에 따라 Fig.1 와 같은 방재시설이 계획되었으며, 기준에 언급된 방재시설 중 비상시 최대의 안전효과를 달성할 수 있는 설비 중심으로 계획하였다. 방재시설은 크게 승객대피 및 화재진압을 위한 시설로 구분할 수 있다. 승객대피를 위한 시설은 탈출시 방향인지 및 시계 확보 그리고 화재연기의 제연을 목적으로 설치되었고, 화재진압을 위한 설비는 신속한 화재진압 및 구조구난을 목적으로 계획하였다. 특히 50 m 간격으로 방수구, 방수기구함을 설치하고 250 m 간격으로 비상콘센트를 설치하여 화재지점까지 진입한 소방대가 신속히 소화 작업을 수행할 수 있도록 하였다.

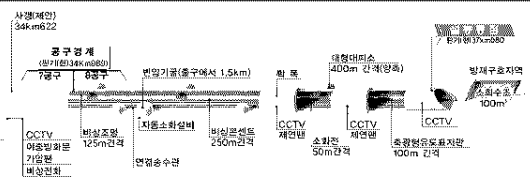


Fig.1 방재설비 배치계획

5.2 방재운영계획

“OO터널” 방재운영계획은 크게 비상시 운전계획, 승객대피를 위한 운영계획, 화재진압을 위한 운영계획 및 구조추진 계획으로 구분할 수 있다. 비상시 운전계획은 “운전취급규정 제 406조”에 해당하며, 비상시 열차는 터널진입전에 정차 또는 터널내 진입시 계속 운전하여 터널외부 방재구호지역 또는 인근정거장에 정차하는 것을 그 골자로 하고 있다. 승객대피를 위한 운영계획 및 화재진압을 위한 운영계획은 다음 Table. 7에 정리하였으며, 승객의 안전대피 및 화재의 신속 진압을 그 목적으로 하고 있다.

구조추진 계획은 “OO터널”이 설치되는 이천시 지역 소방서, 경찰서, 관공서를 연계한 종합방재계획을 수립하여 비상시 신속히 상황에 대처할 수 있도록 하는 것이다.

Table. 7 승객대피를 위한 운영계획

승객대피 방재운영	비고	화재진압 방재운영	비고
1단계 : 열차내 안내방송	-승객에게 화재상황 전파	1단계 : 사고발생 비상연락	-기원사에 의한 비상연락 -원격감시시스템 사고상황 파악
2단계 : 피난대피	-비상조명 가동으로 혼란방지 -유도표지판 : 대피방향 유도	2단계 : 소방대 출동	-구조지역 도착 및 구난활동
3단계 : 계연운전	-계연전 가동으로 연기의 중 -객 피난방향을 확산 방지	3단계 : 소화용수 공급	-소방정포사를 이용 소화수조를 -연결송수관과 연결
4단계 : 구조 및 구난	-소방구급대 출동 -구조지역에서 구난활동 계획	4단계 : 화재진압	-신속하게 화재지역 부입 -현장 방수구 이용 소방활동

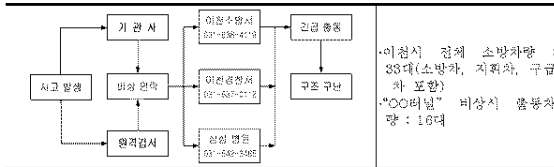


Fig.2 비상시 대응체계

6. 결론

방재시설은 철도터널의 안전성 및 화재특성을 고려하여 승객의 자력탈출을 조력하는 설비를 중심으로 계획해야 하며, 화재단계별 방재설비의 운영방안 및 화재시나리오별 피난대피계획을 수립하여 승객의 안전을 확보해야 한다. 또한 사고시를 대비한 관계기관의 종합지원시스템을 구축하여 신속한 사고대응 및 처리대책을 수립해야 한다. “OO터널”의 경우 상기 목적이 달성될 수 있도록 각국의 방재기준을 검토하고 승객의 안전탈출, 신속한 화재진압 및 구조추진의 목표를 달성하기 위한 종합적인 방재계획을 수립·적용하여 고도의 안전성을 구비토록 하였다.

참고문헌

1. PB, "Subway Environmental Simulation User manual", P 9-1~9-11
2. NIST, "Fire Dynamics Simulator & Smoke View manual"
3. Boras(1994) "Proceedings of the International Conference on Fire in Tunnels", EUREKA 499 fire test
4. International Conference(1999), "Tunnel fires and escape from Tunnels"
5. 건설교통부(2004), "철도터널 안전기준(6차 초안)"
6. UIC 779-9 "철도터널 안전지침"
7. 건설교통부(2004), "중대 철도터널 화재방재 기술 및 환기공조시스템 개발", P 209~242
8. (주)원강종합기술(2005), "성남~여주간 환기방재 보고서"