

# 환기 · 방재측면에서의 초장대 · 대심도 터널에 관한 고찰

Article  
06

이 항

SK C&C Green IT 사업추진팀 차장

## Abstract

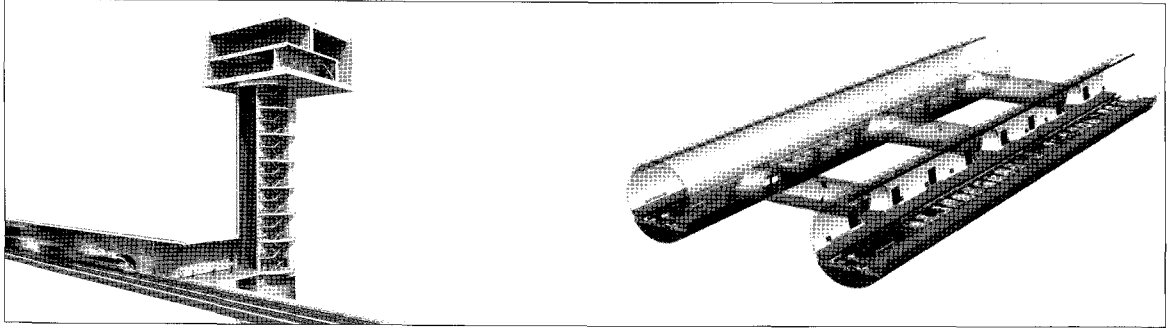
The current railway projects under plan, design, or construction have been designed as 'very long and deep underground tunnel'. Therefore, it is reasonable that the standards for preventing disaster in such conditions should be intensified in order to avoid repeating the same failure which happened in Daegu subway disaster. Although we consent to the opinion that nothing can compete with human being's life, it is very difficult to protect the life from all of potential disasters perfectly in railway fields because the excessive standards can result in excess construction cost, which can bring about cancelation of the project itself eventually. Therefore optimized disaster design standard is required to negotiate the conflict between economical cost and social tolerance limitation simultaneously.

**Keywords** : tunnel, standards for preventing disaster

## 1 서론

최근 계획, 설계 또는 건설 중인 우이-신설, 신림선과 같은 경전철 노선뿐만 아니라 9호선, 신분당선, 소사-원시, GTX와 같은 도시철도 및 광역철도 노선들은 대부분 지하터널로 추진되고 있다. 이와 같이 21세기 저탄소 녹색성장을 바탕으로 친환경적인 철도수단에 관심이 고조되고 있는 가운데, 2003년 대구지하철 참사와 같은 전철을 다시는 밟지 않기 위해서는 밀폐된 지하공간, 특히 초장대 · 대심도 터널에서의 환기 및 방재시설이 중요하

다는 인식에 더할 나위가 없지만, 지나친 설계기준은 오히려 사업성 악화로 사업자체를 위축시킬 수 있다고 판단된다. 그런데, 토목 공사비와 상당히 밀접한 관련이 있는 환기구, 피난연락갱, 구난대피소 등과 같은 방재기반 시설에 관련된 기준법규에는 아쉽게도 다소 포괄적이고 애매모한 항목들이 있다고 판단된다. 그러므로 노선허징 및 차량시스템을 고려하여, 경제적이면서도 사회적으로 충분히 납득할 수 있는 최적화된 설계기준이 제시됨으로써 필요이상의 과설계는 지양될 수 있도록 관련 사례 및 기준을 비교 및 분석하고자 한다.



[그림 1] 방재기반시설 사례 (좌 : 환기구, 우 : 피난연락갱)

## 2 방재개요

공간적 개념으로 보았을 때 크게 지하공간과 지상구간으로 구분되는데, 방재적인 측면에서 밀폐된 지하공간은 [표 1]의 사례와 같이 지상공간보다 매우 불리하므로,

적절한 방재설비가 미구축 될 경우 소중한 인명을 앗아가는 대형참사로 이루어질 수 있다. 그리고 철도 사고사례를 분석한 결과 [표 2]와 같이 터널내 화재의 증가율이 급증하여 주요원인으로 간주되고 있다.

[표 1] 전국 대형기관 및 사업장 분포(2006. 12. 31 기준)

구분	대구지하철 화재사고 2003년 2월	서울시 7호선 화재사고 2005년 1월	부산 지하철 화재 사고 2006년 4월
원인	방화로 인한 대형 인명사고	방화로 인한 지하철 화재사고	열차외부 집전장치 과부하
피해	사망자 53명 / 부상자 134명	인명피해 없음 / 열차 소실	인명피해 없음 / 열차 일부 소실
사고상황			

[표 2] 해외지하철 화재발생시 피해사황

화재 사례	사고 원인	피해상황	사고 원인별 분석
1979년 9월 미국 필라델피아 지하철	변전장치 합선	부상 178명	
1983년 8월16일 일본 나고야 지하철역	전선의 콘덴서 과열	사망 2명, 부상 5명	
1987년 11월18일 영국 킹스크로스 지하철역	에스컬레이터 누전	사망 31명, 부상 50명	
1995년 10월28일 아제르바이잔 지하철	고압선 전기불꽃 발화	사망 300여명, 부상 270여명	

그러므로 본 고에서는 철도분야의 밀폐된 지하공간에서 발생하는 화재사고에 관하여 중점적으로 기술하기로 한다.

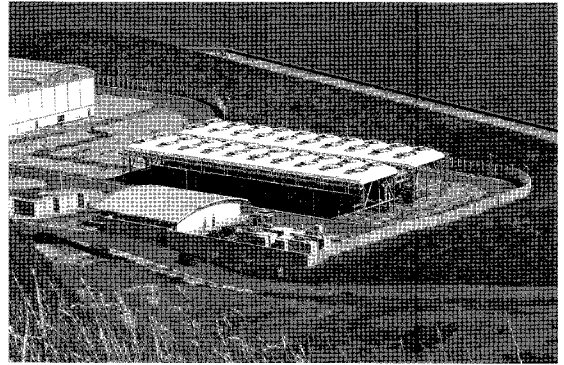
### 3 사례조사

#### 3.1 해외사례

##### ▣ 유로터널

##### ■ 시설물 개요

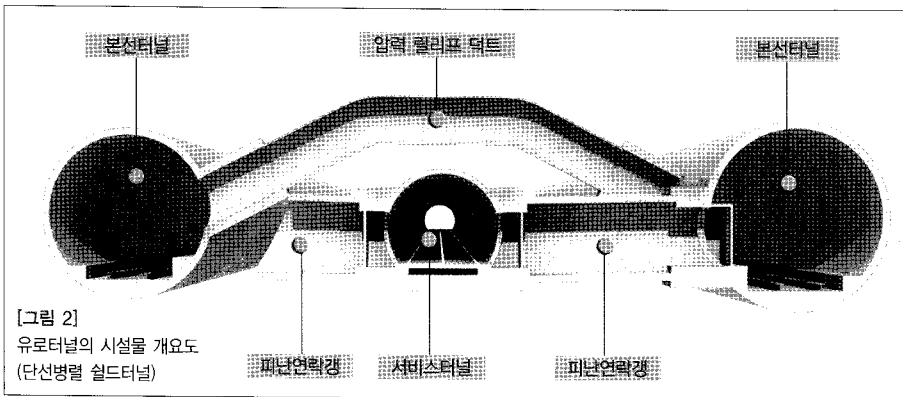
영불해협에 위치한 유로터널은 세계최장의 해저터널로서 전체연장 50.45km중에서 해저 통과하는 38km구간의 평균 해저깊이는 약 45m이다. 직경 7.6m, 면적 45m<sup>2</sup>인 단선병렬의 본선터널 사이에 직경 4.8m, 면적 15m<sup>2</sup>인 선진도갱의 서비스터널이 있고, 상호간은



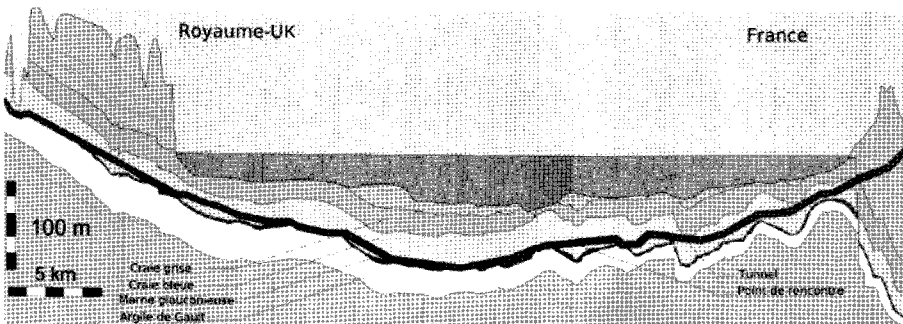
[그림 4] 영국측의 환기구

375m 간격의 면적 8m<sup>2</sup>인 피난연락갱으로 연결된다. 직경 2m의 압력 릴리프 덕트는 서비스터널 상부로 통과하면서 양 측의 본선터널과 250m 간격으로 연결되어 본선터널내 공기압을 감소시킨다. 환기구 건설은 고가의 건설비 이외에도 해상에서 항해중인 선박과의 충돌

로 인한 위험성이 항상 존재하고 또한 해수유입에 대한 방지설비가 필요하므로 총체적으로 불필요하다고 판단되어, 영국측의 Shakespear Cliff와 프랑스 측의 Sangatte에 각각 1개소씩 총 2개소의 환기구만 설치하였다.



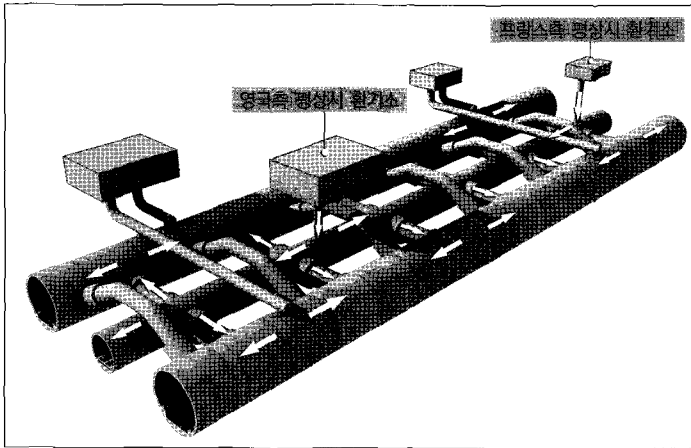
[그림 2] 유로터널의 시설물 개요도 (단선병렬 살드터널)



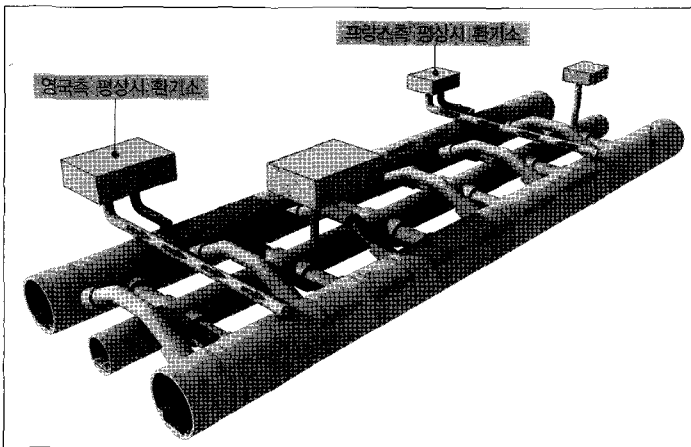
[그림 3] 유로터널의 종단 개요도

■ 환기방식

환기방식은 다음과 같이 2가지로 구분된다.



[그림 5] 정상시 환기방식



[그림 6] 비상시 환기방식

○ 정상시 환기방식

인당 26m<sup>3</sup>/시간의 급기가 가능하여 터널 내 최대인원 20,000명을 동시 수용할 수 있다. 정상시 환기방식은 서비스터널을 거대한 덕트로 활용하여 제어하고자 하는 방향으로의 종방향 급기가 가능하다. 서비스터널에는 본선터널로 공급되는 공기량을 조절하기 위한 공조설비가 피난연락갱 상부에 설치되어 있다. 이 공조설비에는

논리턴(Non-return)댐퍼가 설치되어 본선터널로부터 서비스터널로의 역류를 차단시킨다. 물론, 현장에서 뿐

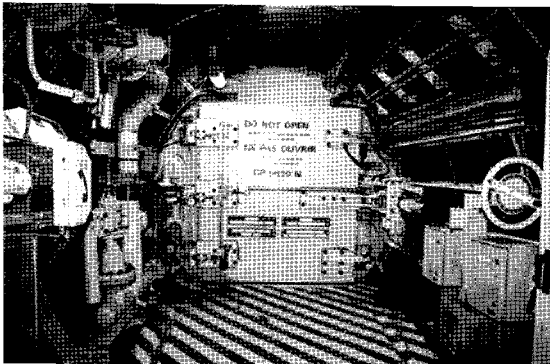
만 아니라 중앙관제실의 원격조정으로도 이러한 차단은 가능하다. 논리턴 댐퍼는 터널 중앙구간에는 대부분의 피난연락갱마다 설치되지만, 나머지 구간에는 피난연락갱 3개소마다 하나씩 설치된다. 터널 양측의 환기소(공조실)는 수직구를 통하여 서비스터널로 급·배기의 기류를 발생시킨다. 공조실에는 예비용 환기팬을 포함하여 100% 용량의 환기팬이 2대 설치되어 있으므로, 어느 한 대의 환기팬의 작동이 불가능한 경우에도 나머지 환기팬으로 정상적인 환기가 가능하다.

○ 비상시 환기방식

철도차량이 예측치 못한 사고로 터널 내부에 정차하게 될 경우 철도차량 상부의 에어컨에서 방출되는 열로 인하여 주변공기의 온도는 계속 상승되는 반면에, 전술된 정상시 환기방식으로는 환기율이 부족하여 결국 터널 내 온도는 한계치 이상으로 상승된다. 이와 같은 경우 비상시 환기시스템이 작

동되어 본선터널로 충분한 기류를 발생시켜서 터널내 온도를 한계치 조건이하로 유지시킨다. 특히 철도차량이 터널 내 화재로 정차된 경우에는 비상시 환기방식의 환기(제연)팬이 터널 내 한쪽 방향으로 제연시킴으로써 반대방향으로 승객들의 대피를 돕는다. 이 때 상대편 터널로의 연기유입을 차단시키고자 압력 릴리프 덕트 댐퍼는 폐쇄된다. 승객들이 피난연락갱의 비상출입문을

통하여 서비스터널로 대피하는 동안 평상시 공조설비도 함께 가동된다. 개방된 피난연락경 비상출입문에는 신선한 공기가 본선 측으로 가압되므로 서비스터널로의 화재연기의 유입이 방지된다. 이 경우 적절한 제연속도는 약 2.5m/s인데, 만약 12m/s 이상이 되면 오히려 피난에 방해가 된다. 화재가 발생된 철도차량이 본선터널에 정착하면 피스톤 효과에 의하여 연기는 진행방향 즉, 피난 반대방향으로 흐른다. 이 때 압력 릴리프 덕트 댐퍼가 만약에 고장으로 개방된다면, 반대편 터널로 주행 중인 철도차량으로 인하여 사고터널에는 그림 8과 같이 연기가 피난방향으로 역류될 것이다. 그러므로 화재 차량 사고가 발생한 경우에는 압력 릴리프 덕트 댐퍼가 필히 폐쇄되어야 하겠지만, 압력 릴리프 덕트 댐퍼가 불가피하게 개방된 경우에는 연기의 피난방향 역류 현상을 방지시키고자 반대편 터널에서의 철도차량의 감속운행이 불가피하다.

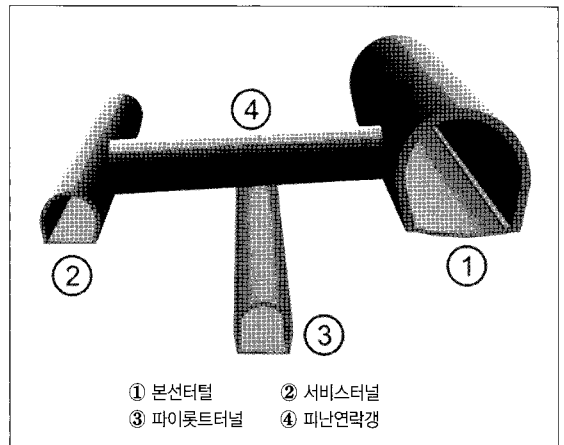


[그림 7] 피난연락경 비상출입문

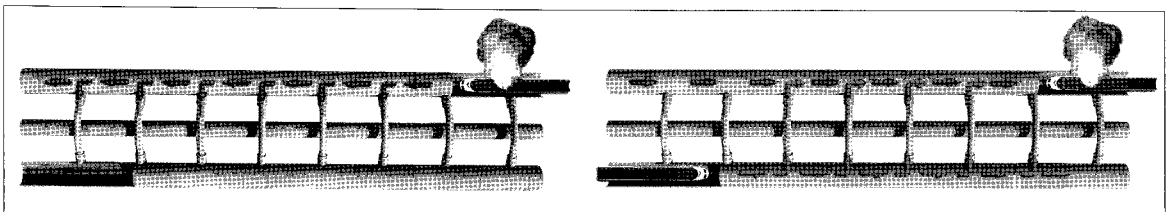
### ■ 세이칸터널

#### ■ 시설물 개요

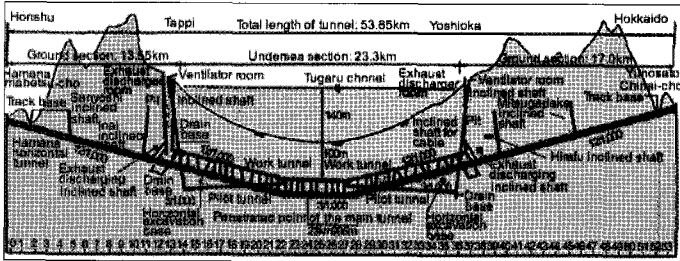
일본 혼슈에서 홋카이도 사이에 위치한 세이칸터널은 현존하는 세계최장터널로서 전체연장 53.85km중에서 해저 통과하는 23.3km구간의 최대 해저깊이는 수면기준으로 약 240m이다. 폭 11.1m, 높이 9.1m, 내부 단면적 72m<sup>2</sup>의 복선터널이외에 파이롯트터널 및 18m<sup>2</sup>의 서비스터널의 총 3가지의 터널로 형성되었다. 건설 중 지질 탐사, 대규모 배수, 시험과 굴착공법 개발용도와 더불어 운영중 배수 및 환기용으로 사용되고 있는 파이롯트터널이 제일 먼저 건설되었다. 두 번째로 공사 중 장비 및 재료 운반, 지반조사, 버력처리, 배수로 등의 용도로 건설되어 현재 환기구로 사용 중인 서비스터널이 건설되었고, 마지막으로 복선의 본선터널이 건설되었다.



[그림 9] 세이칸터널의 시설물 개요도(복선 NAT터널)



[그림 8] 화재시 철도차량 이동에 따른 연기흐름



[그림 10] 세이칸터널의 종단 개요도



[그림 11] 구난대피소

피난연락갱은 서비스터널과는 600m~1000m, 구난대피소와는 40m 간격으로 연결되어 평상시에는 공기압저감 목적으로, 비상시에는 탈출 목적으로 활용된다. 연기 확산으로부터 피해를 감소시키기 위하여 피난연락갱은 본선터널의 위치보다 아래 측에 배치된다. Tappi 및 Yoshioka의 상부에는 환기탑이, 하부에는 구난대피소가 있다. 노선기울기는 향후 신칸센의 운행이 원활하도록 최대 12‰로 건설하였다.

■ 환기측면

환기방식은 다음과 같이 2가지로 구분된다.

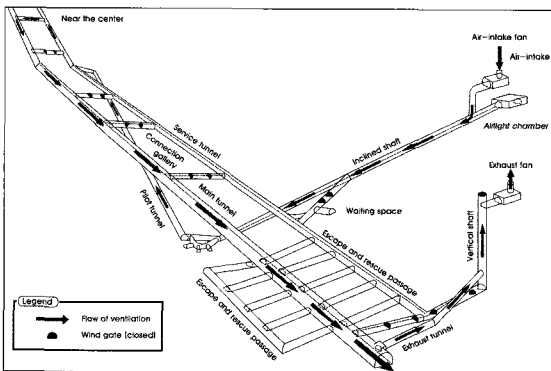
○ 평상시 환기방식

자연환기나 교통환기력만으로는 환기량이 절대적으

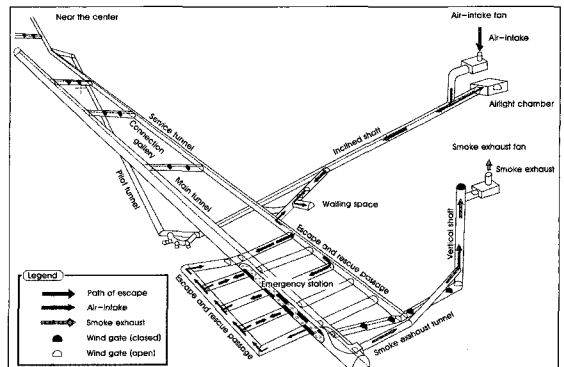
로 부족하여 철도차량에 의한 온도상승 억제뿐만 아니라 유지관리를 위한 디젤 차량으로부터의 발생되는 오염물질 제거가 불충분하므로 강제 환기방식이 적용되었다. 본선터널로의 원활한 급기를 위하여 본선터널은 서비스터널 및 사갱내의 압력보다 항상 고압으로 유지되어야 한다. 환기탑으로부터 급기된 외부의 신선한 공기는 [그림 12]와 같이 사갱 및 파이롯트터널을 경유한 후, 해저 중심부의 피난연락갱을 통하여 본선터널로 기류된 후 내륙의 수직갱으로 배기된다.

○ 비상시 환기방식

세이칸 터널의 방재 설계주안점으로 고려되었던 사항은 첫 번째로 세계최장급의 철도터널이라는 점과 두 번째로 원활한 배수를 위하여 해저중심으로 노선 기울기가



[그림 12] 평상시 환기방식



[그림 13] 비상시 환기방식

V자로 형성된 점이다. 그러므로 화재사고 발생시 고온의 연기가 일정시간 경과 후 상온으로 식어서 바닥으로 하강할 경우 자연적인 배기가 곤란하므로 강력한 인위적인 배기가 필요하다. 따라서 [그림 13]과 같이 환기탑으로부터 급기된 외부의 신선한 공기는 사갱을 지나 구난대피소를 경유한 후, 구난대피소의 피난연락갱을 통하여 본 선터널로 기류되어 내륙의 수직갱으로 배기된다. 전술된 유로터널 및 국내 지하철의 경우에는 일반적으로 교통환기력의 방향을 고려하여 제연방향을 설정한다. 그렇지만, 세이칸터널의 경우는 화재가 발생되면 가능한 한 구난대피소에서의 정착을 원칙으로 하기 때문에 교통환기력 방향과 무관하게 제연하는 것으로 파악되었다.

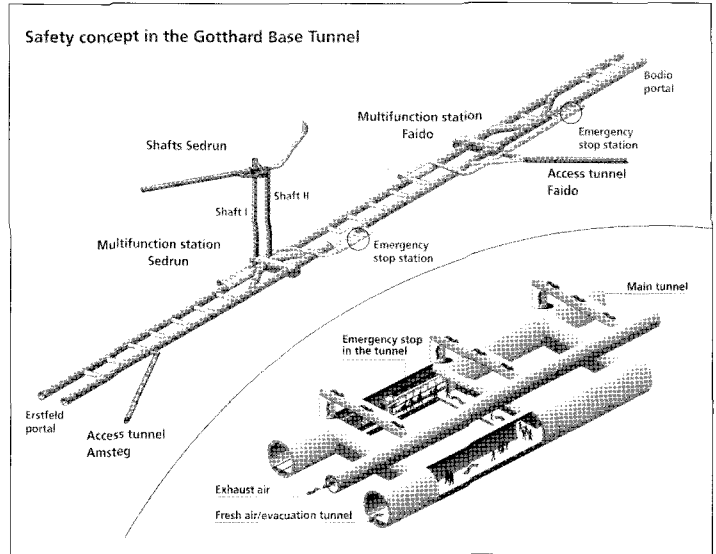
▣ 고타드 베이스 터널

■ 시설물 개요

2015년 운영 목표로 현재 건설 중인 57km의 고타드 베이스 터널이 성공적으로 개통된다면 철도분야의 세계최장터널로 자리매김을 할 것이다. 유로터널과는 상이하게 별도의 서비스터널 없이 오직 단선병렬 터널로만 구성되어 있다. 대신에 화재발생시 안전한 탈출이 가능하도록 1/3 및 2/3지점에 설치될 구난대피소개념의 정거장 2개소에는 외부 대피통로와의 직결되는 사갱과 180m의 간격의 피난연락갱이 계획되었다.

■ 환기방식

피난연락갱은 평상시에는 폐쇄되어 있지만, 비상시에



[그림 14] 고타드 베이스 터널의 시설물 개요도

만 가압으로 개방되어 반대편 터널로의 연기의 침입은 억제시킴으로써 원활하고 신속한 탈출이 되도록 한다.

■ 구난대피소

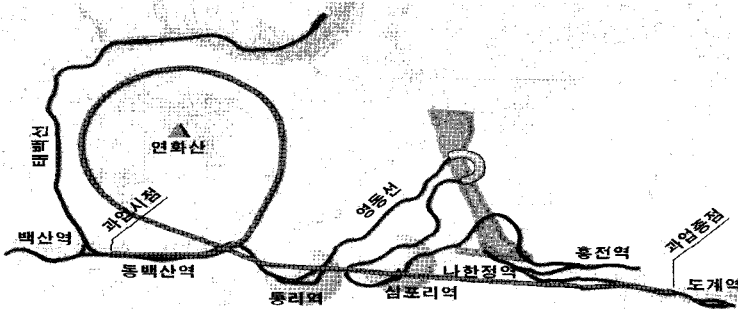
세이칸 터널과 동일하게 2개소의 구난대피소가 계획되었다.

3.2 국내사례

대표적인 국내 초장대 철도터널의 개요는 [표 3]과 같다. 총 연장 약 16km의 단선터널 루프형상인 솔안터널에는 10km 지점에 교행역이 1개소 있는데, 여객열차의 연장보다 약 2배 큰 376m의 규모로서 비상시에는 구난역으로 활용된다. 대피자들은 폭 3m인 8개의 피난연락갱을 통하여 화재차량의 정착위치에서 반대편의 승강장으로 신속히 이동 후, 구난열차로 승차하여 터널외부로 탈출하는 것으로 계획되었다. 교행역(구난역)상부에 235m의 수직갱이 1개소 있고, 양측에 사갱 2개소가 있

[표 3] 국내 초장대 철도터널의 개요

구간	터널명	연장	차량	통과속도	대피시설물
영동선	솔안터널	16km	화물열차	90km/h	환기구 3개소 단선의 교행역(구난역)
			여객열차		
경부고속철	원효터널	13.27km	KTX	300km/h	2.5km이내에 환기구
	금정터널	20.26km	KTX	100(시내구간)~300km/h	사갱, 구난대피소 적용
호남고속철	영곡터널	6.34km	KTX	350km/h	대피통로 1개소
신분당선	청계~판교	7.9km	EMU	90km/h	환기구 5개소



[그림 15] 솔안터널의 노선개요

다. 총 3개의 환기구는 평상시에는 디젤기관차에 의하여 발생된 유해물질의 터널내 축적방지를 위하여 외부의 신선한 공기공급 및 오염물질의 배출이 되도록 하고, 화재발생시에는 환기소 구간별로 환기(제연)설비를 가동하여 신속한 제연이 가능하도록 설계되었다.

## 4 환기 및 방재 시설물 주요특징 검토

### 4.1 터널공법

셰이칸터널 건설당시인 1960년대부터 1980년대에는 쉘드터널공법이 발달되지 않아서 NATM공법으로 복선터널로 건설된 것으로 조사되었다. 그렇지만, 유로터널이 건설된 1990년대 이후에는 쉘드터널 공법이 발달되어 대부분 단선터널로 계획되는 경향이 많다.

### 4.2 단복선 터널

#### □ 환기 및 공기압 측면

단선터널의 경우 복선터널에 비하여 터널단면적이 감소되므로 소요되는 환기량도 적다. 또한, 교통량도 적으므로 열부하가 적게 발생되고, 교통관성력이 우수하여 기류정체가 작을 뿐만 아니라, 기류제어가 우수하

므로 동일한 조건으로 열차 운영할 경우 환기구 간격을 복선터널보다 증가시킬 수 있다. 그렇지만, 반대로 속도의 제곱에 비례하여 증가되는 공력저항이 복선터널보다 커지므로 환기구 간격을 좁히거나, 유로터널과 같이 압력 릴리프 덕트를 설치함이 합리적이다. 유로터널과 고타드 베이스 터널이 모두 단선터널임에 불구하고, 환기구 설치개소는 각각 터널양단의 2개소와 터널중심부를 포함한 3개소로 차이가 발생된다. 이다. 이는 압력 릴리프 덕트가 유로터널은 설치되었지만, 고타드 베이스 터널은 미설치된 것과 무관하지 않다고 판단된다. 물론, 셰이칸 터널은 복선터널이므로 입력 릴리프 덕트가 단선터널에 비하여 상대적으로 크게 중요하지 않다. 네덜란드에 건설중인 7km의 Groene Hart 터널뿐만 아니라, 국내지하철의 경우 일부 대구지하철 및 9호선 1단계에서 복선터널에 격벽을 설치하여 피스톤 효과를 증가시



킴으로써 복선티널의 단점을 보완하고자 한 사례는 있지만, 반대로 터널직경이 증가되어 공사비가 증가되는 단점도 있다.

#### ▣ 방재적 측면

단선티널의 경우 피난연락갱으로 연결될 경우 복선티널에 비하여 화재지점과 무관한 안전지대로 신속한 대피가 유리하다. 또한, 제연방향의 제어가 용이하여 환기구 간격을 복선티널보다 넓힐 수 있다. 물론 폐색을 측면에서 단선티널이 본선티널보다 불리한 점이 있지만, 전체적인 측면에서 단선티널이 유리하다.

#### 4.3 구난대피소

비상시 정차 가능하도록 외부환경과 흡사한 구난대피소를 계획하는 것은 방재측면에서 매우 바람직하다. 그렇지만, 경제성을 고려할 경우 유로터널처럼 단선병렬터널과 함께 서비스터널을 계획함으로써 구난대피소를 미적용할 수도 있다. 그러므로 고타드 베이스 터널과 같이 서비스터널이 없는 단선티널의 경우나, 서비스터널이 있더라도 세이칸터널과 같이 복선티널의 경우에만 적극적인 대피를 위하여 구난대피소가 필요할 것으로 판단된다. 세이칸 터널의 구난대피소는 평상시에도 정차하지만, 고타드 베이스 터널의 구난대피소는 비상시에만 활용된다. 또한 국내의 솔암터널의 경우는 평상시에는 교행역으로, 비상시에는 구난대피소로 각각 활용된다.

#### 4.4 서비스터널

해저터널의 경우 불확실한 지질조사를 위하여 불가피하게 건설되는 선진도갱은 향후 운영 단계시 서비스터

널로 운영되어 환기통로뿐만 아니라, 화재사고 발생시 피난연락갱으로 본선티널과 연계되어 비상대피로의 목적으로 활용될 수 있고, 또한 유지관리용으로도 활용된다. 그렇지만, 산악터널의 경우는 지반상태가 해저터널보다 양호하므로 선진도갱의 서비스터널이 상대적으로 불필요하다.

#### 4.5 대피로

대피로가 넓을수록 비상시 신속한 탈출이 가능함은 분명하지만, 이로 인한 공사비 증가가 불가피하여 경제성이 상실된다. 그러므로 '철도시설 안전기준에 관한 규칙'에 의하여 폭 0.7m이상으로 규정된 유지보수 통로를 비상시에 대피통로로 활용함이 일반적이다. 그런데, 동경 아쿠아만 도로터널과 같은 경우 철도터널보다 폐색율이 작으므로 상대적으로 터널내 여유공간이 많이 발생된다. 따라서 도로터널은 하부 사공간을 활용한 대피방법이 가능하지만, 철도터널의 경우 경제적인 사유로 곤란하다.

## 5 방재기반시설 설계기준 검토

#### 5.1 적용대상

토목시설물 규모에 커다란 영향력을 미치는 환기구, 피난연락갱, 구난대피소 등과 같은 방재기반시설에 관한 설계기준은 [표 4] 및 [표 5]와 같다. 그런데, 고속철도 설계기준은 '철도시설 안전기준에 관한 규칙'으로 최종 통합되었으므로, 일반철도 및 고속철도에 해당되는 '철도시설 안전기준에 관한 규칙'에 의거하여 연장 1km 이상의 신규터널에 관하여 정량적 위험도 분석(QRA : Quantitative Risk Analysis)의 결과에 따라서 방재기

[표 4] 국내설계기준

기준	항목	검토 결과
도시철도법 서울시종합안전대책 도시철도건설규칙	적용대상	•수도권구간에 운영되는 차량 및 정거장간 거리 1~2km
	설계기준	•특별한 기준제시항목 미제시
고속철도 터널방재기준 (2005.09.16)	적용대상	•고속철도
	설계기준	•대피통로 간격은 터널내 가장 가까운 대피통로까지의 최대거리를 1.25km이내가 되도록 2.5km 이내로 유지 •터널연장이 15km 이상 되는 터널은 구난승강장 설치 •철도시설 안전기준에 관한 규칙으로 통폐합되어 폐지
철도시설 안전기준에 관한 규칙 제4조 (2006.09.22)	적용대상	•일반철도
	설계기준	•QRA를 통한 방재 주요구조물 적용여부 및 범위 제시

[표 5] 국내설계기준

시기	관련 법규	주요 쟁점 사항
2003. 11	고속철도 설계기준(노반면 : 터널방재부문)	•2003년 2월18일 대구지하철 화재참사이후 국가 안전정책의 일환으로 제정
2005. 09	고속철도 설계기준(노반면 : 터널방재부문)	•2005년 2월 당초기준에 대한 감사원 기술감사의 보완권고에 의한 개정
2005. 10	철도시설 안전기준에 관한 규칙	•1km이상 터널에 관하여 안전성분석결과에 따라 터널방재시설 설치
2006. 09	철도시설 안전세부기준	•철도시설 안전기준에 관한 규칙 제4조의 규정에 의거, 철도시설 안전에 관한 세부기준 제정
2008.03	철도시설 안전기준에 관한 규칙	•정부조직법의 개정에 따른 감정평가에 관한 규칙 등 일부 개정

반시설 규모를 결정하는 것으로 검토되었다. 그러므로 노선특징에 따라서 통근형(도시철도), 및 간선형(일반철도 및 고속철도)와 같이 구분될 수 있고, 특히 최근 부상이 되고 있는 '수도권 급행철도 사업'의 경우 통근형의 광역철도 성격을 지니므로 일반철도와는 성격이 분명히 상이함에도 불구하고, 모두 '철도시설 안전기준에 관한

규칙'을 확일적으로 준용하고 있는 실정이다

## 5.2 화재규모 및 성장곡선

### ▣ 화재규모

'철도시설 안전기준에 관한 규칙'에 의거하여 적용된 화재규모가 [표 6]과 같이 10MW 이상으로 모두 기준을

[표 6] 화재규모 적용사례

노선명	경전선	전라선	성남~여주	신분당선
터널구간	진주~광양	신리~익산	5공구	강남~정차
터널연장	2.3km	1.125km	-	18.5km
화재규모	35MW	15MW	15MW	10MW
노선명	9호선	소사~원시	GTX	우이~신설
터널구간	915 공구	소사~원시	(미확정)	우이~신설
터널연장	1.8km	21km	(50km)	11km
화재규모	10MW	10MW	10MW	10MW

[표 7] 물성치 비교

구분	알루미늄	철	스테인레스
비 중	2.7	7.87	7.9
비 열	0.214(kcal/kg°C)	0.108(kcal/kg°C)	0.11(kcal/kg°C)
용융점	659°C	1530°C	1400°C
열전도율	196(kcal/°C)	62(kcal/°C)	14(kcal/°C)
적용차량사례	인천공항철도 KTX-II 우이-신설 경전철	초기 지하철 차량	9호선 신분당선 신규 지하철 차량

[표 8] 화재규모 해외사례

국 가	적용 지하철 노선	화재발열량	적용 차량	비 고
싱가포르	Circle Line(CCL)	10 MW	지하철	
호 주	New South Link	10 MW	지하철	
홍 콩	Lantau Airport Line(LAL)	5 MW	지하철	
태 국	Chaloem Ratchamongkhon MRT line, Bangkok	7 MW	경량전철(철제차륜)	일반지하철과 크기동일
그리스	Athens metro	10 MW	지하철	
영 국	St Paul's City Thameslink, London	16 MW	지하철	
미 국	Mount Lebanon Tunnel LRT, Pittsburgh, Pa	13.2 MW	경량전철(철제차륜)	

만족하지만, 노선특징에 상관없이 입찰설계시 설계우위성을 확보하고자 과설계의 경향이 있는 것으로 판단된다.

더구나 차체재질로서 [표 7]과 같은 물성치 차이를 보이고 있는 점에도 불구하고 동일한 화재규모를 정의하는 것도 과설계가 될 수 있는 요인으로 예상된다.

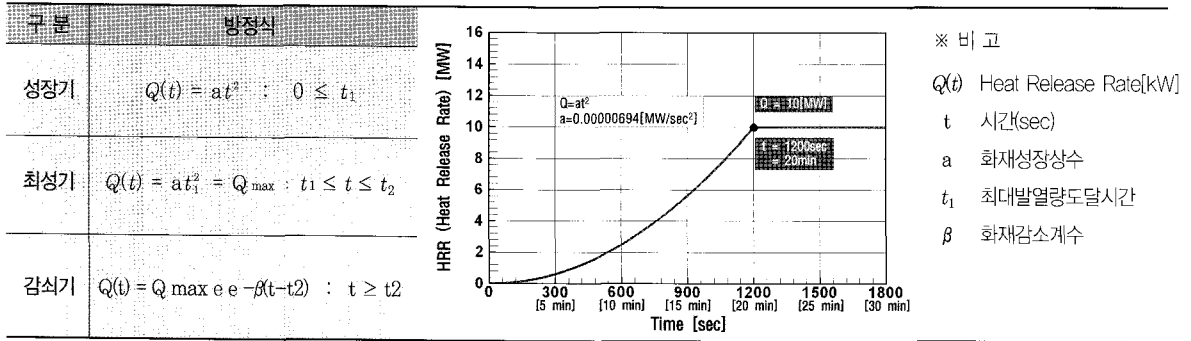
그러므로 화재규모를 무조건 10MW 이상으로 규정지을 것이 아니라, 사업계획 단계에서부터 노선특징 및 운행될 차량시스템을 감안하여 경제적이면서도 사회적으로 납득할 수 있는 화재규모를 계획함이 필요하다. 만약 선로변의 방재시설뿐만 아니라, 차량 측에서 난연성 및 불연성 등의 설비를 비롯하여 워터미스트 및 전두부의 비상탈출문과 같은 보다 적극적인 방재설비를 계획하고, 관계기관과의 유기적인 관계를 바탕으로 지속적인

훈련으로 화재 발생시 즉각적인 초동대처가 가능하도록 계획한다면, 화재규모가 10MW까지 성장하기 전에 화재진압 및 대피가 가능하여 방재기반시설물의 규모를 감소시킬 수 있을 것이다. 화재규모 관련하여 해외사례를 조사한 결과, [표 8]과 같이 10MW이하를 적용하는 사례도 있음을 확인하였다.

▣ 화재성장곡선(Heat Release Rate Curve)

동일한 화재규모라 할지라도, 최대 화재규모에 도달하는 flash over 시점에 따라서 피해규모는 다르다. 즉 [표 9]와 같이 화재성장곡선의 flash over에 도달하는 시점이 빠르면 빠를수록 대피시간이 부족하여 피해규모는 커진다. 그럼에도 불구하고 '철도시설 안전기준에 관한 규칙'은 단순히 화재규모 10MW 이상만 규정되어 있을

[표 9] 화재성장곡선

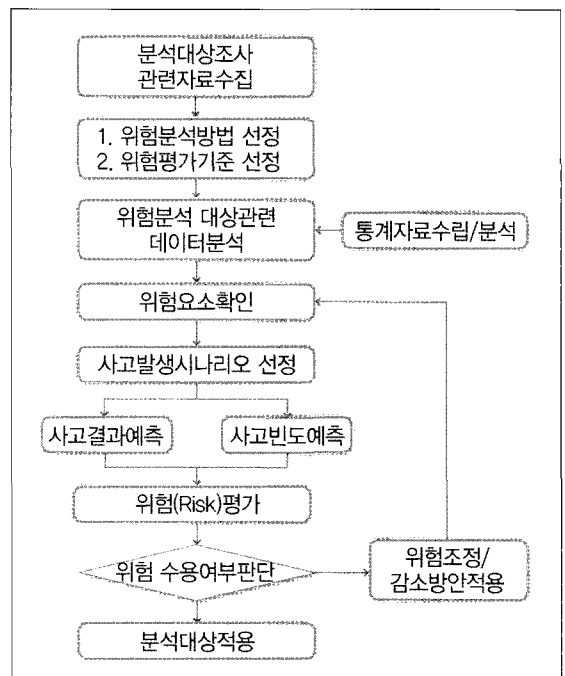


뿐, 세부규정으로 flash over 시점에 관한 규정은 없다. 한 예로 대부분의 국내사례는 flash over 시점을 1200초로 설계하고 있지만, 9호선 915공구 T/K의 경우는 600초로 적용하였음이 조사되었다.

### 5.3 정량적 위험도 분석(QRA : Quantitative Risk Analysis) 기준

QRA란 사고발생확률(F)과 사망수(N)의 곱으로 정의되어 통계학적 방법에 근거하여 [그림 16]과 같은 절차로 정량적으로 산출하는 기법을 의미한다. 그런데 '철도시설 안전기준에 관한 규칙'에 의하여 QRA를 수행하여 방재시설물 규모를 결정하도록 규정되어 있으나, 정작 QRA 자체의 국내기준은 없는 것으로 조사되었다. 그러므로 [표 10]의 해외기준 중 상대적으로 가장 엄격한 홍콩기준을 적용하고 있는 실정이다.

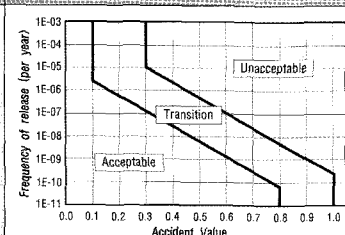
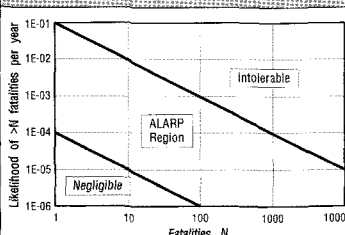
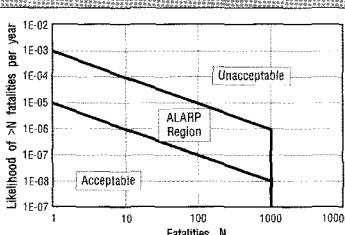
최근 설계되고 있는 GTX, 9호선 2단계, 소사-원시, 우이-신설 등의 대부분의 신규노선 및 연장노선들은 [표 11]과 같이 QRA를 수행한다. 그렇지만, 경부고속철도내 원효터널 및 금정터널은 초기에는 고속철도 방재기준을 적용하여 2.5km이내에 환기구, 사갱 등을 설계하였으나 추후 QRA에 의거하여 구난대피소등을 추가 적



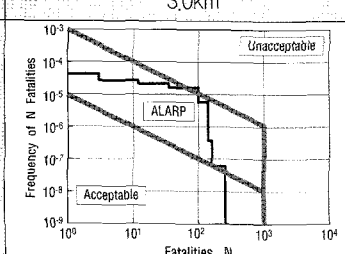
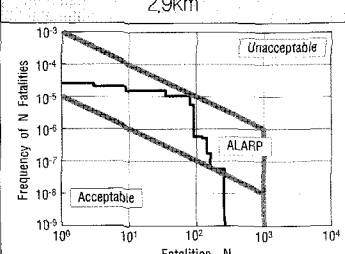
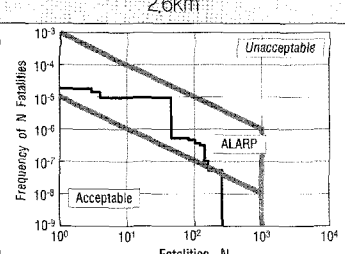
[그림 16] QRA 수행절차

용하였지만, 반면에 호남고속철도의 터널들은 설계초기 단계부터 QRA를 수행한 것으로 조사되었다. 현재 공사 중인 신분당선 민자사업의 설계시점이 2006년 9월의 '철도시설 안전세부기준'의 기준이 적용되기 이전이므로, 청계부터 판교까지의 약 8km인 복선터널구간에 환기구 간격은 QRA대신 제연모드의 수치해석방식으로 적

[표 10] 해외 QRA 기준비교

국가명	스위스	영국	미국
영역분포			
적용범위	위험시설(Hazardous Facilities) 광범위한 범위의 위험활동을 포함	위험물(DG, Dangerous Goods) 수송루트와 근접한 곳	잠재적 위험시설 (Potentially Hazardous installations)
위험구간	Unacceptable > Transition > Acceptable	Intolerable > ALARP > Negligible	Unacceptable > ALARP > Acceptable

[표 11] QRA를 통한 GTX사업의 환기구 간격 검토사례

구분	Case1	Case2	Case3
환기구간격	3.0km	2.9km	2.6km
F-N curve			
리스크영역	Unacceptable	ALARP	ALARP
리스크( $\Sigma R$ )	1,2942E-03	8,6040E-04	4,5486E-04
기준만족	X	O	◎

정성을 검증하였다. 솔안터널의 경우도 설계당시 2000년 이전이므로 정식적인 QRA대신 개략적인 QRA로 구난역, 환기구, 대피통로 간격 등을 검증한 것으로 조사되었다.

### 5.4 승강장 화재

방재측면에서 본선터널보다는 승강장이 매우 안전하므로, 화재가 발생된 차량은 가능한 한 본선터널보다는 승강장까지 진입 후 승객들을 대피시키는 것이 바람직하다. 전술한 바와 같이 본선터널에서는 QRA 개념으로

경제적으로 사회적으로 수용할 수 있는 일정수준의 사망자가 발생하는 것을 전제로 설계한다. 그렇지만, 승강장에서는 [표 12]의 승강장에서 화재발생시 대피 관련된 설계기준을 근거로 [표 13]과 같이 모든 피난자가 규정된 시간내에 1차 및 2차 안전구역으로 대피하는 것을 전제로 설계한다. 승강장으로 진입한 차량의 화재규모는 본선터널과 동일하게 '철도시설안전규칙에 관한 규칙 제4조'에 의거하여 10MW로 규정한다.

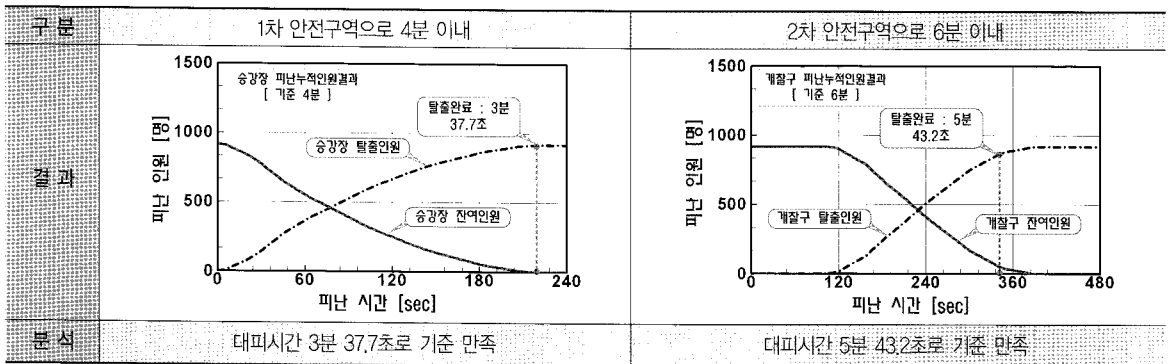
최근 설계되는 지하철사업에서는 도시철도건설규칙의 특별피난계단과 더불어 서울시 도시기반시설본부의 기

[표 12] 승강장에서 화재발생시 대피 관련된 설계기준

구분	허용기준	피난 평가
NFPA 130	4분 이내	• 승강장으로부터 대피시간
	6분 이내	• 승강장의 가장 먼 지점에서 안전한 장소
홍콩 Metro	4.5분 이내	• 승강장에서 출구 통과
*서울시 도시기반시설본부	4분 이내	• 1차 안전구역까지 피난 (승강장 탈출)
	6분 이내	• 2차 안전구역까지 피난 (개찰구 진입)
**국토해양부	4분 이내	• 승강장으로부터 피난
	6분 이내	• 연기나 유독가스로부터 안전한 외부출입구를 벗어나는 시간
도시철도건설규칙	-	• 지하3층 이하 승강장으로부터 외부로 직접 탈출 가능하도록 특별피난 계단 설치

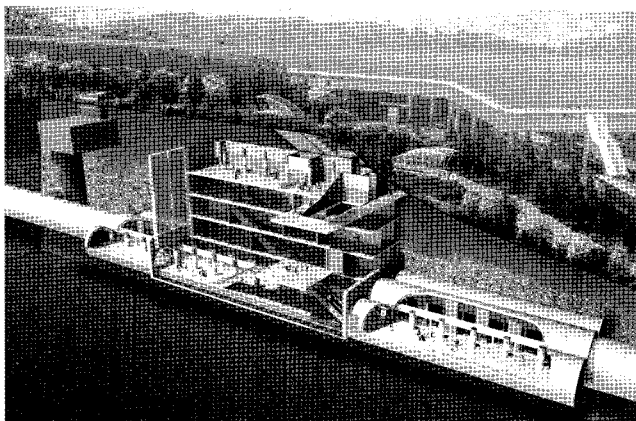
\* 서울시 지하철 방재설계 기본방향 연구 (2002.8)      \*\* 도시철도 정거장 및 환승, 편의시설 보완 설계지침 (2002.11)

[표 13] 대피관련 시뮬레이션 사례



[표 14] NFPA 130 기준 준용 사례

사업명	9호선	신분당선	7호선	GTX
해당 정거장	926, 930 등	강남, 양재, 포이 등	752 등	-



[그림 17] 대심도 정거장

준을 근거로 2차 안전구역까지의 피난기준시간 6분을 준수하고 있다. 즉, 승강장에서 화재발생시 6분이 경과되기 이전에 모든 대피자들이 개찰구까지 탈출이 완료되어야 한다는 의미이다. 그렇지만, 일부 승강장의 심도가 40m 이상 깊은 경우에 이러한 기준을 만족하여야 위해서는 계단을 확폭하여야 하고 이는 곧 건설비의 증가가 불가피하다. 그러므로 최근 설계되는 있는 지하철에서는 [표 14]와 같이 2차 안전구역을 개찰구가 아니라

화재발생 후 6분 이내에 대피가능한 제연구역으로 해석하여 NFPA 130을 준용하는 경향이 있다. 그렇다면 점차 대심도로 계획되고 있는 현실을 감안할 경우 국내 관련 설계기준을 현실적으로 수정할 필요가 있다고 판단한다.

## 6 결론

철도시대의 르네상스를 맞이하여 타교통수단보다 확실한 우위를 차지하기 위해서는 신속성, 편리성 및 쾌적성뿐만 아니라 안전성 향상도 매우 중요하다. 환기 및 방재시설물이 강화될수록, 쾌적한 서비스가 제공되고 소중한 인명 및 재산을 보호한다는 차원에서는 바람직하지만, 이는 토목시설물에 상당한 투자를 요하므로 지나

친 방재기준은 오히려 철도사업 발전의 발목을 잡을 수가 있다. 그러므로 경제적이면서도 사회적으로 납득할 수 있는 최적화된 설계가 필요하다.

물론 본 고의 내용은 세부적인 검토가 이루어지지 않은 부분이 많으므로 향후 다소 변경될 수도 있겠지만, 큰 범주에서 고려할 때 토목 공사비와 밀접한 관련이 있는 환기구, 피난연락경, 구난대피소 등과 같은 방재기반 시설 규모에 대하여 보다 경제적이면서도 사회적으로 납득할 수 있는 설계기준 확립이 시급하다고 판단된다.

그러므로 조사된 국내외 초장대 터널 사례의 설계 및 건설당시 기술력뿐만 아니라 적용된 관련법규, 사회적 분위기 등을 고려하면, 절대적인 기준이기보다는 참고용으로만 활용될 수 있을 것으로 판단된다.