

초장대 철도터널의 환기 및 방재시설에 관한 고찰

■ 김 남 영 / (주)삼보기술단, n220911@naver.com

■ 이 항 / (주)삼보기술단

서론

최근 계획 중인 대부분의 도시철도는 민원에 대한 대응과, 지하철, 상하수도, 전기, 통신, 하천 등의 지하지장물 간섭, 토지보상비의 절감을 위하여 대심도로 추진되고 있다. 또한, '호남 ~ 제주 해저 고속전철 건설사업'은 '서울 ~ 목포 간 호남고속철도'에 해저터널을 연장하여 서울에서부터 제주까지 약 2시간 30분 이내 주파를 목표로 현재 구상중이다. 아울러, 향후 한일 해저터널 및 한중 해저터널과 연계되면 동북아 발전에 지대한 공헌을 할 수 있을 것이다.

21세기 저탄소 녹색에너지 산업의 일환으로 친환경적인 철도수단에 관심이 고조되어 고속철도 등 건설 사업이 활발해짐에 따라 초장대 터널이 늘고 있으므로 대심도화 되는 초장대 터널의 안전대책을 강구하여 터널내의 사고에 대비하여야 한다.

그러나, 지나친 안전기준은 오히려 사업성 악화로 사업자체를 위축시킬 수 있다. 그러므로 토목공사비와 밀접한 관련이 있는 환기구, 대피통로,

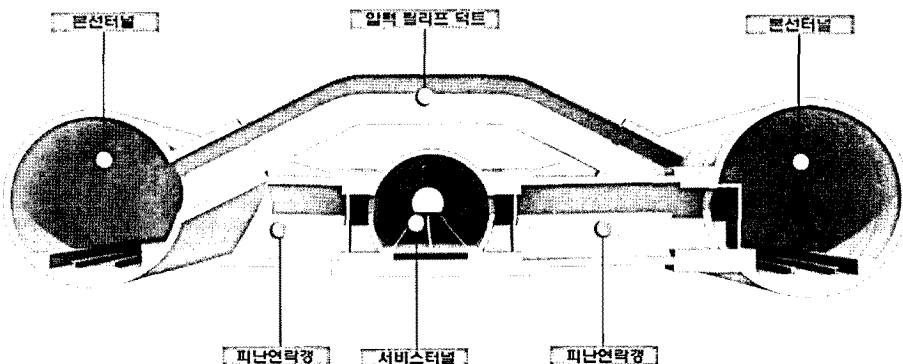
수직터널, 경사터널, 구난대피소 등과 같은 초장대 철도터널의 환기 및 방재 기반시설에 대하여 경제적이면서도 사회적으로 납득할 수 있는 최적화된 설계를 추구하도록 국내외 사례를 비교 및 분석하고자 한다.

해외 초장대 철도터널 소개

유로터널

· 시설물 개요

영불해협에 위치한 유로터널은 세계최장의 해저터널로서 전체연장 50.45 km중에서 해저 통과하는 38 km구간의 평균 해저깊이는 약 45 m이다. 직경 7.6 m 및 면적 45 m²인 두개의 본선터널 사이에 직경 4.8 m 및 면적 15 m²인 서비스터널이 있으며, 단면적이 8 m²인 피난연결통로가 375 m 간격으로 연결된다. 직경 2 m의 압력 릴리프 덕트는 서비스터널과는 직결되지 않고 상부로 통과하면서 양측의 본선터널과 250 m 간격으로 연결되어 터널내 공기압을 감소시킨다. 철도터널 내 1/3구간마다



[그림 1] 유로터널의 시설물 개요도 (단선병렬 쉘터터널)



회차시설이 계획되어 회차가 가능하다.

환기구 건설은 고가의 건설비용뿐만 아니라 해상에서 항해중인 선박과의 충돌로 인한 위험성이 항상 존재하고 또한 해수유입에 대한 방지설비가 필요하므로 영국 측의 Shakespear Cliff와 프랑스 측의 Sangatte 지상에 각 1개소씩 총 2개소의 환기구를 설치하였다.

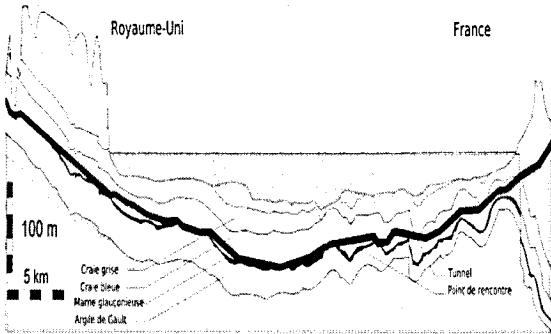
• 환기방식

단선병렬의 본선터널과 선진도갱(Pilot tunnel)의 서비스터널로 구성된 유로터널의 환기방식은 다음과 같다.

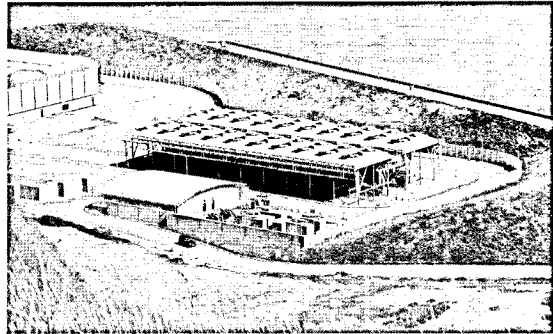
1) 평상시 환기방식

급기량은 1인당 26 m³/h로 터널 내에 20,000명을 동시 수용할 수 있다. 평상시 환기방식은 서

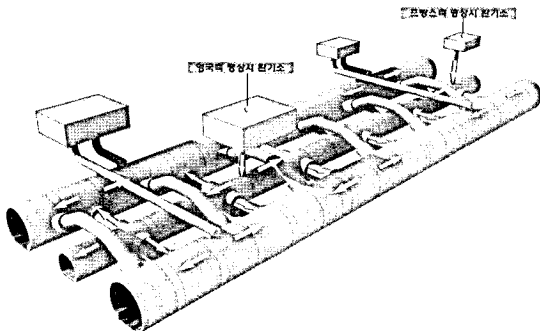
비스터널을 풍도로 활용하여 제어하고자 하는 방향으로의 종방향 급기가 가능하다. 서비스터널에는 본선 터널로 공급되는 공기량을 조절하기 위한 공조 설비가 피난연결통로 상부에 설치되어 있다. 이 공조 설비에는 체크(Non-return)댐퍼가 설치되어 본선터널로부터 서비스터널로의 역류를 차단시킨다. 물론, 현장에서 뿐만 아니라 중앙관제실의 원격조정으로도 이러한 차단은 가능하다. 체크 댐퍼는 터널 중앙구간의 대부분 피난연결통로에 설치되지만, 나머지 구간에는 피난연결통로 3개소마다 하나씩 설치된다. 터널 양측의 영국과 프랑스 측에 위치한 환기소(공조실)는 수직구를 통하여 서비스터널로 급·배기의 기류를 발생시킨다. 공조실에는 100% 용량의 환기팬이 예비용을 포함하여 2대 설치하였다. 전기관차만 운행되므로, 환기설



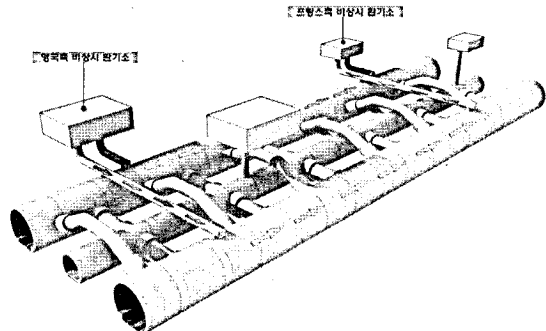
[그림 2] 유로터널의 종단 개요도



[그림 3] 환기소 (Shakespear Cliff)



[그림 4] 평상시 환기방식



[그림 5] 비상시 환기방식

비는 오직 발열량 제거용으로 161 m³/s의 급기가 가능하다.

2) 비상시 환기방식

철도차량이 불의의 사고로 터널 내 정차하게 되면, 철도차량 상부의 에어컨에서 방출되는 열로 주변공기는 지속적으로 가열된다. 때문에 평상시 환기방식으로는 환기가 부족하여 터널 내 온도는 한계치 이상으로 올라간다. 이러한 경우 비상시 환기시스템이 가동되어 터널내 온도를 한계치 조건이하로 유지시킨다. 특히 철도차량이 터널 내 화재로 정차된 경우, 비상용 환기(제연)팬은 터널 내 한쪽 방향으로 제연 함으로써 반대 방향으로 대피하는 승객들의 안전을 도모한다. 이때 상대편 터널로의 연기유입을 차단시키고자 압력 릴리프 덕트 댐퍼는 폐쇄된다. 승객들이 피난연결통로의 비상출입문을 통하여 서비스터널로 대피하는 동안 평상시 공조설비도 함께 가동된다. 개방된 피난연결통로 비상출입문을 통하여 신선한 공기가 본선 측으로 가압되므로 서비스터널로의 화재연기 진입이 방지될 수 있다. 이 경우 적절한 제연속도는 약 2.5 m/s이고, 12 m/s 이상이 되면 오히려 도보 피난이 곤란하다. 제연용량이 영국측은 260 m³/s이고, 프랑스측은 300 m³/s이다. 화재가 발생된 철도차량이 본선터널에 정차하면 피스톤 효과에 의하여 연기는 진행방향 즉, 피난 반대방향으로 흐른다. 이 때 압력 릴리프 덕트 댐퍼가 만약에 고장으로 폐쇄되지 못한다면, 반대편 터널로 주

행 중인 철도차량으로 인하여 사고터널에는 그림 7과 같이 연기가 피난방향으로 역류될 것이다. 그러므로 화재 차량사고가 발생한 경우에는 압력 릴리프 덕트 댐퍼가 필히 폐쇄되어야 하지만, 압력 릴리프 덕트 댐퍼가 불가피하게 개방된 경우에는 연기의 피난방향 역류 현상을 방지시키고자 반대편 터널에서의 철도차량은 필히 저속으로 운행되어야 한다.

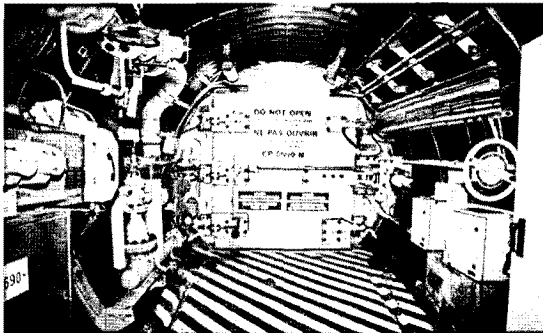
세이칸터널

· 시설물 개요

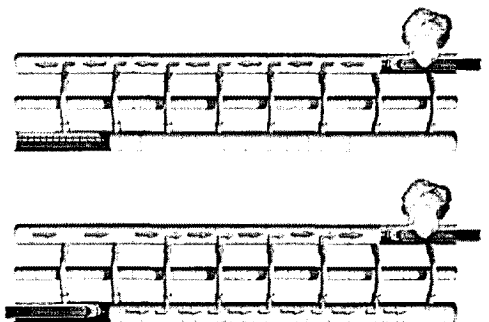
일본 혼슈에서 홋카이도를 연결하는 세이칸터널은 세계최장터널로서 전체연장 53.85 km중에서 해저를 통과하는 구간은 23.3 km이며, 최대깊이는 수면기준으로 약 240 m이다. 폭 11.1m, 높이 9.1 m, 내부 단면적 72 m²의 복선터널과 파이롯트터널 및 18 m²의 서비스터널로 구성되어 있다.

파이롯트터널이 제일 먼저 지질탐사와 배수 및 굴착공법 개발용으로 건설되었으며, 현재는 배수 및 환기용으로 사용되고 있다. 서비스터널은 공사용 장비 및 재료 운반, 지반조사, 버력처리, 배수로 등의 용도로 건설되었고 현재에는 배수와 환기용으로 사용되고 있다. 마지막으로 복선의 본선터널이 건설되었다.

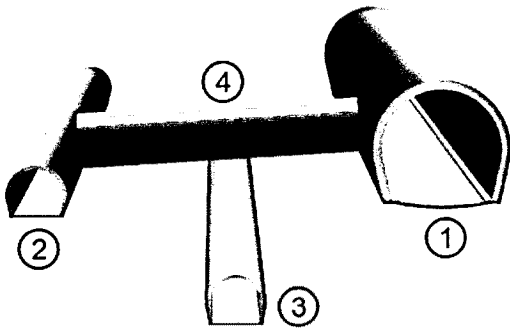
Tappi 및 Yoshioka에 구난대피소 2개소가 설치되었으며, 이 구난대피소는 세계최초의 해저역사이다. 구난대피소에는 승강장, 피난연결통로 및 대피소, 제연 및 소화설비, 통신 및 방송설비 등이 설치되어 있다.



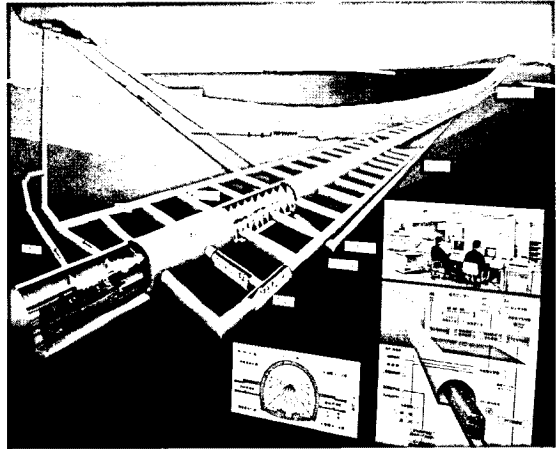
[그림 6] 피난연결통로 출입문



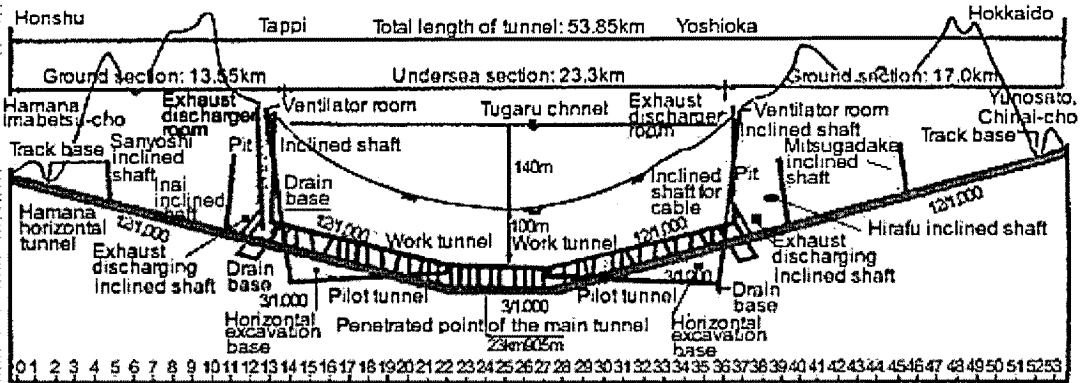
[그림 7] 화재시 철도차량 이동에 따른 연기흐름



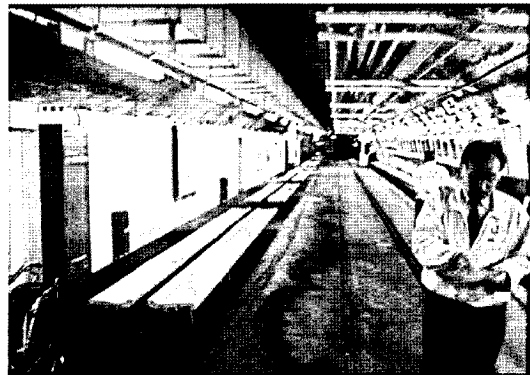
① 본선터널 ② 서비스터널
③ 파이롯트터널 ④ 피난연결통로



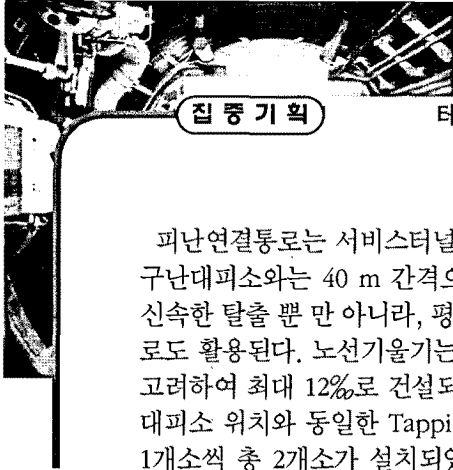
[그림 8] 세이칸터널의 시설물 개요도 (복선 NAT메터널)



[그림 9] 세이칸터널의 종단 개요도



[그림 10] 구난대피소



피난연결통로는 서비스터널과 600 m ~ 1000 m, 구난대피소와는 40 m 간격으로 연결되어 비상시 신속한 탈출 뿐 만 아니라, 평상시 공기압저감용으로 활용된다. 노선기울기는 향후 신칸센 운행을 고려하여 최대 12%로 건설되었다. 환기탑은 구난대피소 위치와 동일한 Tappi 및 Yoshioka에 각각 1개소씩 총 2개소가 설치되었다. 연기확산으로부터 피해를 최소화시키기 위하여 피난연결통로는 본선터널보다 아래 측에 배치되었다.

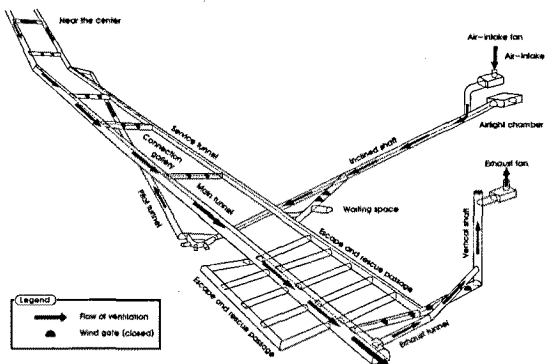
• 환기측면

1) 평상시 환기방식

자연환기나 교통환기력만으로 환기량이 부족하여 평상시 철도차량에서 발생한 열량과 유지관리용 디젤 차량에서 발생하는 오염물질을 충분히 제거하지 못하므로 강제 환기방식이 적용되었다. 자연환기시 본선터널에서의 기류속도는 약 1 m/s이고, 압력차는 약 0.1 kPa로 조사되었다.

본선터널로의 원활한 급기를 위하여 본선터널은 서비스터널 및 사갱내의 압력보다 항상 고압으로 유지되어야 한다.

환기탑으로부터 급기된 외부의 신선한 공기는 그림 11과 같이 사갱 및 pilot터널을 경유한 후, 해저중심부의 피난연결통로를 통하여 본선터널로 유입되어 내륙의 수직갱으로 배기된다. 환기 설비는 급기용으로 65 m³/s × 190 kW × 1대와 80 m³/s × 370 kW × 1대가 있으며, 배기용으로 170 m³/s × 360 kW × 1대가 설치되어 있다.



[그림 11] 평상시 환기방식

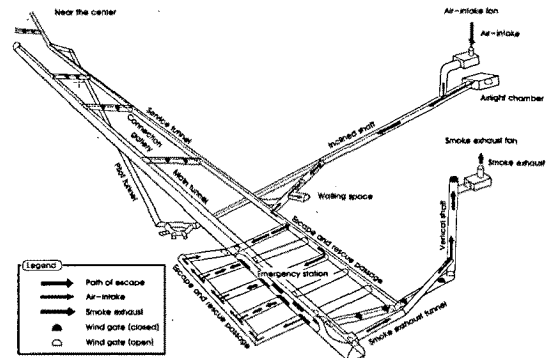
2) 비상시 환기방식

세이칸 터널의 방재시 증점고려 사항은 세계최장 철도터널이라는 점과 원활한 배수를 위하여 해저중심으로 노선 기울기가 V자로 형성되었다는 점이다. 그러므로 방재측면에서 고온의 연기가 일정시간 경과 후 냉각되어 바닥으로 침강할 경우 인위적인 배기가 필요하다. 화재발생 시 그림 12와 같이 환기탑으로부터 급기된 외부 공기는 사갱을 지나 구난대피소를 경유한 후, 피난연결통로를 통해 본선터널로 유입되어 내륙의 수직갱으로 배기되는데, 제연용량은 167 m³/s이다. 앞서 검토된 유로터널뿐만 아니라 국내 지하철의 경우 교통환기력의 방향을 고려하여 제연방향을 설정하는 것이 일반적이다. 그렇지만, 세이칸터널의 경우는 화재가 발생하면 가능한 한 구난대피소에 정차하고 교통환기력 방향과 무관하게 배연하는 것으로 조사되었다. 또한 일본은 사고자체를 방지하고, 화재보다는 지진에 더 주력하는 것으로 파악되었다.

고타드 베이스 터널

• 시설물 개요

SBB(스위스 연방철도)에 의하여 2015년 운영을 시작할 계획으로 건설 중인 57 km의 고타드 베이스 터널이 성공적으로 개통되면 세계 최장터널이 될 것이다. 고타드 터널은 유로터널과는 상이하게 별도의 서비스터널 없이 단선병렬 터널로만 구성되어 있다. 대신에 1/3 및 2/3지점에 구난대피소



[그림 12] 비상시 환기방식



(Emergency stop station) 개념의 정거장(구난대피소)이 2개소 설치되어 화재발생시 안전한 탈출을 돕는다. 또한, 2개의 구난대피소는 사갱형식의 별도의 외부 대피통로와 직결되어 있고, 피난연결통로의 간격은 180 m이다.

• 환기방식

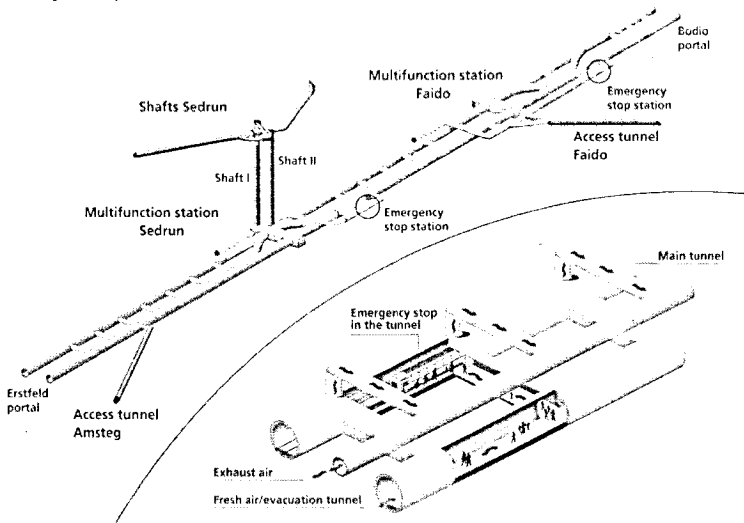
비상시에 피난연결통로를 가압하여 상대편 터널로 연기 침입을 억제시켜 피난환경을 조성한다. 한

편, 전기기관차 전용 터널이므로 환기설비 용량은 발열 제거용으로서 평상시에는 35 m³/s의 급기, 비상시에는 200 m³/s의 용량이다.

• 구난대피소

세이칸 터널과 동일하게 2개소의 구난대피소가 있다, 세이칸 터널의 구난대피소는 평상시에도 정차하지만, 고타드 베이스 터널은 비상시에만 정차한다.

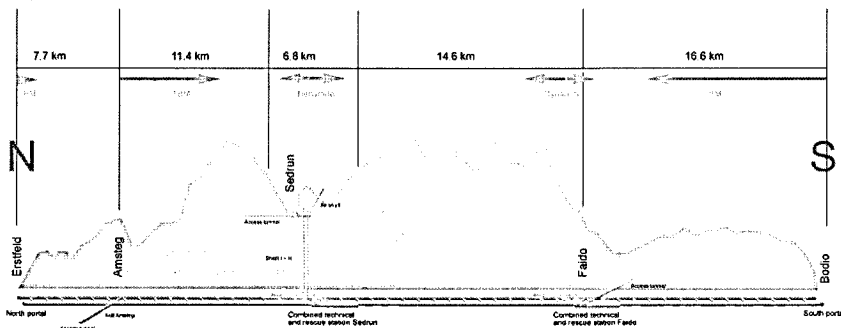
Safety concept in the Gotthard Base Tunnel



[그림 13] 고타드 베이스 터널의 시설물 개요도

New Rail Link through the Alps NRLA
Gotthard Base Tunnel

between Erstfeld UR and Bodio TI, Switzerland
Length: 57 km / 35.4 mi - Construction: 1995 - 2015

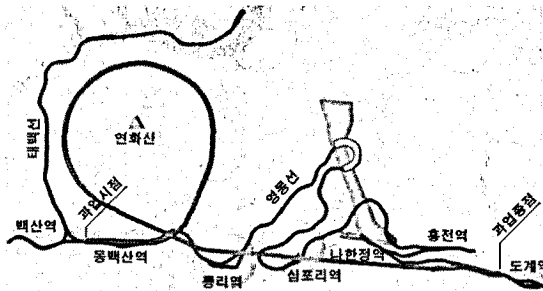


[그림 14] 고타드 베이스 터널의 종단면 개요도

국내 초장대 철도터널 소개

대표적인 국내 초장대 철도터널의 개요는 표 1과 같다.

총 연장 약 16 km의 단선터널 루프형상인 솔안터널에는 터널시점으로부터 10 km 지점에 교행역이 여객열차의 연장보다 약 2배 길이의 376 m로 설치되어 있으며, 비상시에는 구난역으로 활용된다. 화재시 대피자들은 폭 3 m인 8개의 피난연결통로를 통하여 반대편 승강장으로 신속히 이동 후, 구난열차로 승차하여 터널외부로 탈출하는 것으로 계획되었다. 교행역(구난역)상부에 235 m의 수직갱이 1개소가 있고, 양측에 사갱 2개소가 있다. 설계시기가 2000년 이전이므로 2006년 9월의 '철도시설 안전기준에 관한 규칙'에 의한 QRA 대신 개략적인 QRA로 구난역, 환기구, 대피통로 간격 등을 검증하였다. 총 3개의 환기구는 평상시에는 디젤기관차에 의하여 발생된 배기가스의 터널 내 축적방지를 위하여 오염물질의 배출과 외기공급을 실시하고, 화재 발생 시에는 환기소 구간별로 환기(제연)설비를 가동하여 신속한 제연을 실행한다.



[그림 15] 솔안터널의 노선개요

<표 1> 국내 초장대 철도터널의 개요

구간	터널명	연장	차량	통과속도	대피시설물
영등선	솔안터널	16 km	화물열차 여객열차	90 km/h	환기구 3개소 단선의 교행역(구난역)
경부고속철도	원효터널	13.27 km	KTX	300 km/h	2.5 km 이내에 환기구, 사갱, 구난대피소 적용
	금정터널	20.26 km	KTX	100(사내구간) ~ 300 km/h	
호남고속철도	영곡터널	6.34 km	KTX	350 km/h	대피통로 1개소

경부고속철도내 원효터널 및 금정터널은 초기에는 고속철도 방재기준을 적용하여 2.5 km 이내에 환기구, 사갱 등을 설계하였으나 추후 '정량적 위험도 분석(QRA)'에 의거하여 구난대피소등을 추가 적용한 것으로 조사되었다. 그렇지만, 호남고속철도는 처음부터 '철도시설 안전세부기준'에 의거하여 설계가 마무리 되어 시공중이다.

해외 초장대 도로터널

참고로 초장대 도로터널을 비교함으로써 초장대 철도터널과의 공통점 및 차이점을 분석하고자 한다.

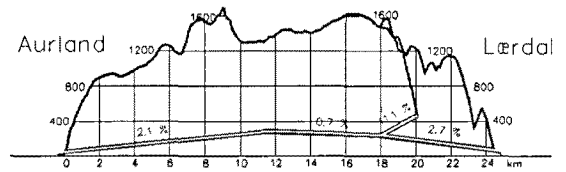
Laerdal 터널

• 개요

Norway에 위치한 Laerdal 터널은 연장이 24.5 km로 세계최장의 도로터널이며, 터널내 질소산화물 정화장치를 설치한 최초터널이다. 약 5년간의 공사 끝에 2000년 11월 27일 운영을 시작하였다. 양방향 2차로 대면교통터널로서 종단기울기는 2.7%이다.

• 환기시설

우선 터널상부에 32 kW 32대의 제트팬이 설치되



[그림 16] Laerdal 터널의 종단개요도



있고 두 번째로 터널입구로부터 6.5 km 이격된 지점의 사갱내에 환기팬 540 kW 2대가 장착되었으며, 사갱과 갱구부 사이에 전기집진기가 설치되어 있다.

• 방재시설

방향 전환소 15개소(1.5 km 간격), 대형 회차로 3개소(6 km 간격), 비상주차대 48개소(500 m 간격) 등이 구축되어 있다.

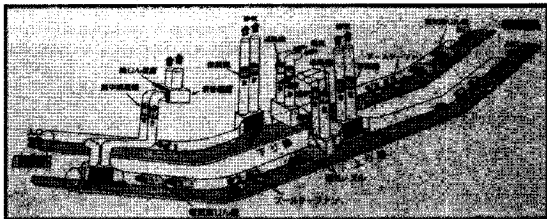
동경 아쿠아만 터널

• 개요

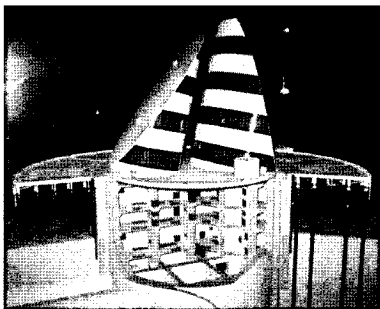
1997년 12월 개통되어 동경만을 횡단하는 Tokyo Wan Aqua Line은 전체 15.1 km 노선 중 해저구간은 9.6 km이다. 공사중 장비투입구 및 운영중 환기를 위하여 수직갱이 설치되어 있으며, 터널내 차량의 주행 설계속도는 80 km/h이다.

• 환기시설

환기방식은 제트팬과 전기집진기가 설치된 종류 환기방식이며, 수직갱이 존재한다.



[그림 17] 동경 아쿠아만 터널의 시설물 개요도



[그림 18] 환기구 모형

• 방재시설

300 m 간격으로 설치된 대피용 출입문을 개방한 후 미끄럼틀을 통하여 터널하부의 대피통로로 대피한다. 대피통로는 가압되어 화재연기의 유입을 차단하며, 구조용 차량 접근이 가능하다.

환기 및 방재 시설물 주요특징 검토

터널공법

세이칸터널 건설당시인 1960년대부터 1980년대에는 TBM(Tunnel Boring machine) 공법이 발달되지 않아서 NATM공법으로 복선터널로 건설되었지만, 유로터널이 건설시기인 1990년대 이후에는 쉘드터널 공법이 발달되어 단선터널로 계획되는 경향이 많다.

환기 및 공기압 측면

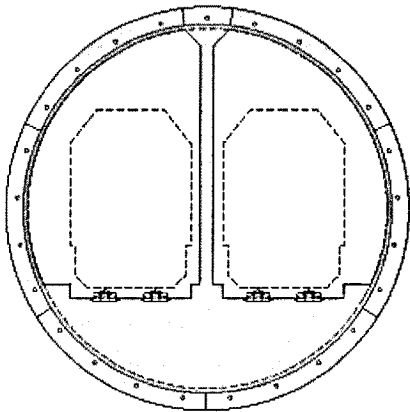
• 단복선 터널비교

도로터널의 경우 폐색율(=차량단면적/터널단면적)이 철도터널보다 작을 뿐만 아니라 터널 내 차량의 주행속도가 낮으므로 미기압과 및 이명감과 같은 공기압 측면이 설계 시 고려될 필요성이 적다.

그렇지만, 철도터널의 경우 단선터널은 폐색율이 높고 속도의 제곱에 비례하는 공기압이 생성되므로 압력 릴리프 덕트가 필요하다. 아울러, 교통관성력이 우수하여 동일한 조건으로 열차 운영할 경우 환기구 간격을 복선터널보다 증가시킬 수 있다. 유로터널과 고타드 베이스 터널은 동일한 단선터널이지만, 유로터널의 환기소는 양단의 2개소이고 고타드터널은 환기소가 터널중심부를 포함하여 3개소이다. 유로터널은 압력 릴리프 덕트가 설



[그림 19] 동경 아쿠아만 터널의 방재시설물 개요도



[그림 20] 복선터널내 격벽설치

치되었으며 고타드 베이스 터널은 설치되지 않았다. 세이칸 터널의 경우 단면이 복선터널이므로 압력 릴리프 덕트가 단선터널에 비하여 크게 중요하지 않다. 네덜란드에 건설중인 7 km의 Groene Hart 터널과 국내지하철 대구지하철 및 9호선 1단계에서 복선터널에 격벽을 설치하여 교통환기력을 증가시킴으로써 복선터널의 단점을 보완하고자 한 사례도 있다.

• 도로터널과의 환기방식 비교

최근 철도터널의 경우 전기를 동력으로 하는 차량의 비율이 높으므로 배기가스가 거의 발생되지 않는다. 또한 도로터널보다 폐색율이 크므로 교통환기력이 우수 할 뿐만 아니라 승객은 차량내부에 위치하므로 터널내의 환경에 노출되는 경우가 적다. 그러므로 철도터널의 환기는 오염물질 제거보다는 열을 제거하는 열환경 개선 측면이 우선 고려되어야 한다. 도로터널은 열환경 측면보다 자동차로부터 발생하는 배기가스를 제거시키는 효과적인 방법이 요구된다.

일반적으로 초장대 도로터널의 경우 다음과 같은 3가지 방법이 많이 적용되고 있다.

첫째는 '제트팬 + 수직갱' 방식으로 제트팬 가동에 의하여 차량 진행방향으로 기류를 형성시킨 후 수직갱으로 오염공기를 배출시키고 외부의 신선한 공기를 터널내로 급기시키는 방식이다. 대표적인 사례는 18 km의 중국 Zhongnanshan 터널이다.

다음은 '제트팬 + 수직갱 + 전기집진기' 방식으로 터널내부에서 발생된 분자상물질인 매연을 전기집진기에서 포집하고 정화된 공기를 축류팬을 통하여 터널본선으로 재공급하는 방식이다. 매연의 발생이 많거나 터널연장이 긴 경우에 매우 적합하지만, 제반 공사비가 많이 든다. 대표적인 사례로 Laerdal 터널과 동경 아쿠아만 터널이 있다.

다음은 '횡류식 + 수직갱'으로 터널내부에 급기와 배기덕트를 설치하고 터널외부에 환기소를 설치하여 급기덕트를 통해 외기를 공급하고 배기덕트로 오염된 공기를 배출시키는 방법이다. 급기와 배기가 동시에 이루어지므로 환기적 측면에서 우수하지만, 터널내부 공간 증가에 따른 공사비 증가가 불가피하고 교통환기력을 효과적으로 활용할 수 없는 단점이 있다. 대표적인 사례로 스위스 고타드 도로터널이 있다.

도로터널의 경우 제트팬을 설치할 경우 대부분 터널상부에 설치한다.

그렇지만, 철도터널의 경우 터널상부의 전차선과의 간섭이 발생되기 쉽고, 고속 기류로 인한 제트팬의 낙하사고가 우려되므로 제트팬을 천정에 설치하기가 곤란하다. 제트팬을 철도터널에 설치한 사례는 동해남부선 및 소사-원시와 같이 터널측면에 빌트-인 방식으로 설치한 예가 있다.

방재적 측면

• 단복선 터널비교

단선 병렬터널은 화재터널로부터 상대터널로 대피가 복선터널에 비해 유리하다. 또한, 제연이 용이하여 환기구 간격을 복선터널보다 넓힐 수 있다. 물론 폐색율 측면에서 단선터널이 복선터널보다 불리하며 차량에서 하차가 곤란한 점이 있지만, 전체적인 측면에서 단선터널이 유리하다.

• 구난대피소

비상시 정차 가능하도록 안전한 구난대피소를 계획하는 것은 방재측면에서 매우 바람직하다. 그렇지만, 경제성을 고려하면 유로터널처럼 단선병렬터널과 더불어 서비스터널을 계획하여, 구난대피소를 미적용할 수도 있다. 그러므로 고타드 베이스 터널과 같이 서비스터널이 없는 단선터널의 경우



나, 서비스터널이 있더라도 세이칸터널과 같이 복선터널의 경우에만 적극적인 대피를 위하여 구난대피소가 필요할 것으로 판단된다. 국내의 솔암터널의 경우는 평상시에는 교행역으로 활용되지만, 비상시에는 구난대피소로 이용된다.

• 서비스터널 및 피난연결통로

해저터널의 경우 정확한 지질조사가 곤란하므로 지질파악을 위해 선진도갱(pilot tunnel)이 건설된다. 이 파이로트 터널은 운영시 서비스터널로 운용된다. 서비스 터널은 환기통로뿐만 아니라, 화재 발생시 비상대피로의 용도로 활용될 수 있고, 또한 유지관리용으로도 활용된다. 그렇지만, 산악터널의 경우는 지반상태가 해저터널보다 양호하므로 선진도갱의 필요성이 상대적으로 적다. 즉, 서비스터널의 본래목적은 방재용이기보다는 지질조사용도가 크기 때문에 해저터널에 설치되는 경우가 많다.

• 대피로

대피로가 넓을수록 비상시 신속한 탈출이 가능하지만, 이로 인한 공사비 증가가 불가피하다. 그러므로 '철도시설 안전기준에 관한 규칙'에 의하여 폭 0.7 m 이상으로 규정된 유지보수 통로를 대피통로로 활용하는 것이 일반적이다. 그런데, 도로터널의 경우 전술한 바와 같이 철도터널보다 폐색율이 작으므로 상대적으로 터널내 여유 공간이 많이 발생되며, 동경 아쿠아만 터널과 같이 터널내 하부공간을 활용한 대피방법도 가능하다.

결론

환기 및 방재시설물이 강화될수록, 쾌적한 서비스가 제공되고 소중한 인명 및 재산 보호 측면에서 바람직하지만, 초기투자비와 유지관리비가 증가한다. 또는 공사비 절감 차원에서 어느 한 시설물을 축소시키거나 생략하면, 다른 시설물의 규모증가가 초래될 수 있다. 본고에서 조사한 국내의 초장대 터널 설계사례는 당시의 기술력과 관련법규, 사회적 분위기 경제사정 등이 고려된 것이므로 저마다 특성이 상이하다.

따라서, 초장대 터널 계획도 시대정신이 반영된

경제적이면서도 사회적으로 납득할 수 있는 최적화된 개념이 필요하다.

참고문헌

1. 이항 외, 2008, "대심도·장대터널의 방재 및 환기계획" 한국터널공학회지
2. 김남영 외, 2008, "대심도 장대 철도터널의 환기구 간격검토" 대한설비공학회지
3. 김남영 외, 2008, "유로터널의 환기 및 방재측면에서의 고찰" 토목학회지
4. 국토해양부, 2005, "철도시설 안전기준에 관한 규칙"
5. 국토해양부, 2008, "도시철도 건설규칙"
6. 국토해양부, 2006, "철도시설 안전세부기준"
7. 국토해양부, 2005, "고속철도 터널방재기준"
8. 전덕찬 외, 2004, "정량적 화재위험성평가(QRA) 기법을 적용한 터널방재 설계사례", 한국지반공학회 창립 20주년 기념 지반구조물설계·시공사례집
9. 김원국, 2003, "터널 방재설계 최적화에 관한 연구", 대한토목학회, 터널시공기술향상 대토론회 논문집
10. ISO/TS 13571, 2002, "Life-threatening components of fire Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data"
11. 김도식 외, 2005, "QRA분석을 이용한 철도터널 방재설계 사례" 한국암반공학회, 학술발표회
12. 김동현 외, 2006, "QRA에 의한 철도터널 방재 안전성 평가" 한국철도학회, 학술발표회
13. The Long Tunnels in the World
14. An International Codes and Standards Organization, 2007, "NFPA 130, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems"
15. Bäckman, Johan., 2002, "Railway Safety Risks and Economics", Stockholm: Royal Institute of Technology, Department of Infrastructure and Planning. (C)