

대심도 장대터널의 계획 및 방재기준 적용사례

글 | 김창수 | 토목기술부 과장 | 전화 02-3433-7767 E-mail : conshot@ssyenc.com

장대터널은 단순한 연장으로 정의되기보다는 운행 중 서비스 수준과 공사계획 특성 측면에서 검토되어야 한다. 왜냐하면, 교통량이 매우 적거나 공사조건이 매우 양호하다면, 연장이 어느 정도 길어도 단순히 터널굴착연장의 증가에 불과할 수도 있기 때문이다.

따라서 유럽의 경우에는 구난개념 측면에서 500~1,000m를 짧은 터널(Short Tunnel), 1,000~15,000m를 긴 터널(Long Tunnel), 그리고 15,000m 이상을 장대터널 또는 매우 긴 터널(Very Long Tunnel)로 정의(I.T.C, Conference 1999)하고 있다.

공사 측면에서는 공사 중 환기를 비롯한 설비, 굴착공기 측면에서 일반터널에 비하여 별도의 작업구나 환기구 또는 특수 장비가 필요한 터널을 장대터널로 정의할 수 있다.

1 서론

최근 도로나 철도 계획은 기존의 단순한 지역간 연결에 그치지 않고 주행성 향상과 환경파괴 최소화를 위하여 노선을 선정하는 추세이다. 이는 산악지형이 많은 우리나라의 지형적 특성상 장대터널 계획이 불가피함을 의미한다. 이미, 선형조건이 매우 엄격한 고속철도의 경우에는 연장 10km의 터널의 굴착이 완료된 상태이고, 전라선 슬치터널은 연장이 6.2km이 이미 운행 중이며, 고속도로의 경우엔 연장 4.5km와 3.3km의 죽령터널과 둔내터널 등이 있다. 또한, 경부고속철도 금정터널은 L = 20km의 복선터널로서 현재 시공 중에 있으며 2006년 추가로 터널방재시설에 대한 실시설계가 수행되었다.

유럽의 경우에는 구난개념 측면에서 500~1,000m를 짧은 터널(Short Tunnel), 1,000~15,000m를 긴 터널(Long Tunnel), 그리고 15,000m 이상을 장대터널 또는 매우 긴 터널(Very Long Tunnel)로 정의하고 있다.

공사 측면에서는 공사 중 환기를 비롯한 설비, 굴착공기 측면에서 일반터널에 비하여 별도의 작업구나 환기구 또는 특수 장비가 필요한 터널을 장대터널로 정의할 수 있다. 이러한 장대터널의 경우는 선형조건, 교통조건, 갱내 유지관리 조건 및 방재설비 적용을 위한 설계기준 등의 많은 측면에서 일반터널과 차이가 있다.

본고에서는 장대터널을 중심으로 장대터널 계획시 고려할 사항과 특성에 대해서 D터널의 설계 사례를 통해서 알아보려 한다.

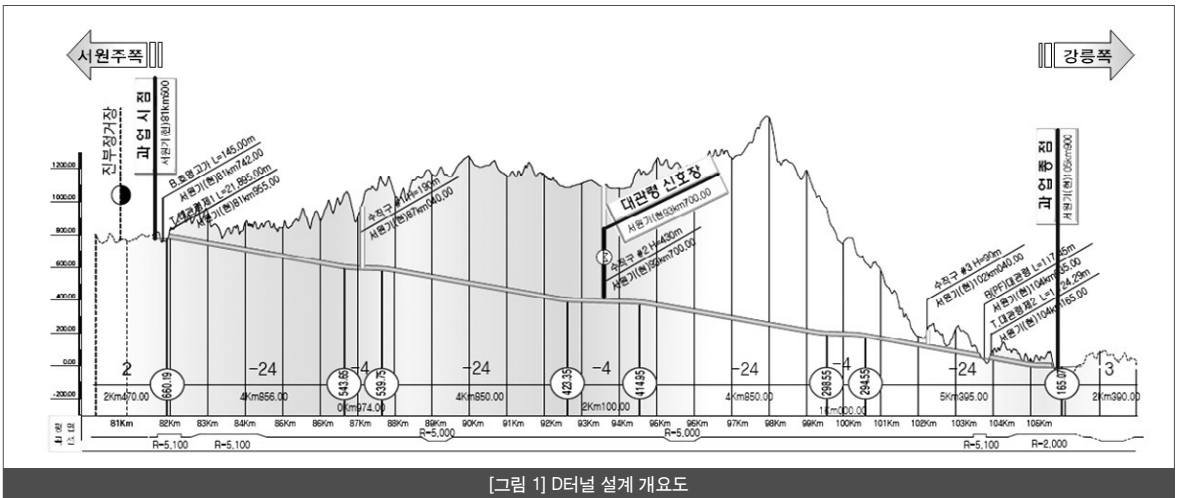
2 장대터널의 특성

장대터널 계획시 고려할 사항은 크게 공사단계와 운행단계로 대별할 수 있으며, 먼저, 운행단계에서 요구되는 시설물을 계획하고 이를 적절하게 만족할 수 있는 공사계획을 수립하여야 한다.

장대터널의 운행단계에서 고려하여야 할 사항으로는 터널 내 환경 조건과 유지관리 특성 및 재난시 구난 계획을 들 수 있다. 터널 내 환경은 유지관리원의 위생, 열차승객의 안전 및 쾌적함에 영향을 미치므로 적정한 영구 환기계획을 수립하여야 한다. 장대터널은 기본적으로 유지관리를 위한 접근 빈도가 일반터널에 비하여 낮을 수밖에 없기 때문에 기본적인 터널 내 설비는 내구성이 있어야 하며 유지관리가 용이한 설계를 하여야 한다.

또한, 화재 등의 사고시 신속한 접근과 구난을 고려한 환기계획과 대피계획 등이 수립되어야 하며, 이를 위한 공간은 터널설계시 반영되어야 한다. 장대터널의 공사계획시에는 공사기간, 대심도에 따른 안정성, 불확실한 지반조건, 진입로 및 사토처리 등의 부대시설 등을 고려하여야 한다.

터널은 막장에서만 공사가 이루어지기 때문에 장대터널 건설은 많은 시간이 소요되므로 공사비가 증가하더라도 작업구를 이용하여 막장수를 늘릴 필요가 있다. 이 때, 운행단계의 터널 내 환기를 위한 환기구 및 접근로와 연계하여 검토하면 중폭투자를 방지할 수 있다. 고성능 장비 및 적절한 자재를 사용하여 작업 사이클을 단축하는 것은 기본적으로 적용되어야 할 사항이다.



[그림 1] D터널 설계 개요도

장대터널은 대부분 험준한 지형적인 요인 때문에 불가피하게 계획 되는 경우가 많아 계획심도가 깊은 것이 일반적이다. 따라서 암반 강도에 비하여 큰 지반하중이 작용하므로 터널의 소성거동을 적절히 이해하고 암반파열(Rock Bursting), Swelling, Squeezing과 같은 암반이상거동에 대한 검토가 필요하다.

장대터널은 지형이 험준하고 심도가 깊으며, 조사지역이 방대하기 때문에 계획단계에서 질과 양적으로 충분한 지반정보를 얻기가 힘들다. 이에 비하여 터널이 다양한 지반조건에 위치하고 각종 단층 등의 지질구조대와 조우할 가능성은 매우 높아진다. 따라서 계획 단계에서의 지반조사를 보완할 수 있는 시공 중 조사계획이 보다 철저하여야 하며, 시공 중 발생할 수도 있는 위험요인에 대한 대응책이 잘 수립되어야 한다.

3 장대터널 설계사례

3-1. 설계 개요

과업노선이 평창군에서 강릉시까지 이르는 구간에서의 연장 약 22km의 D터널 설계 사례를 통해 장대터널 설계 및 시공시 고려해야 할 사항에 대해 알아보면 다음과 같다. 이 경우 과업노선 대부분이 험준한 산악지형을 이루고 동저서고(H = 500m)형의 지세를 보여 부득이 전체구간의 97%를 터널로 계획 하였고, 국내에서 가장 규모가 큰 대관령을 통과하는 지형조건에 의해 선로기준을 따라 최장인 연장 약 22km의 D터널이 계획되었다.

D터널은 국내 최장 터널로서 초장대 터널에 적합한 환기방재 성능을 확보하기 위하여 단선병렬 단면형식을 채택, 신호장 구간의 대피역 기능을 부여하고 원활한 제연을 위한 3개의 환기구 설치 등을 계획하였으며, 국내의 방재설비 기준을 검토하여 이에 부합된 환

기 방재설비를 계획하였다. 또한, 장대터널 계획시 공사기간에 가장 큰 영향을 미치는 굴착공법은 다음과 같은 설계조건을 고려하여 전단면 기계굴착공법인 TBM(Tunnel Boring Machine)을 적용한 사례이다.

3-2. 설계 요약

본 노선의 설계기준은 1급선으로 평면선형은 R = 2,000이상으로 구성되었으며, 특히 D터널(L = 21,895km)은 국내 최장대 철도터널로 계획되므로 기존 “중앙선(원주-봉양) 복선전철 노반 기본설계(L = 14km/11km 2개소)”와 같이 터널 간 간격을 20m로 유지한 단선병렬터널로 계획하였다. 환기방재 측면을 고려하여 단선병렬로 계획되었으며 지질조건 및 터널 연장을 감안하여 TBM공법이 적용됨에 따라 최소 곡선반경을 만족하는 단선 원형단면이 적용되었다. 최대 약 22km의 장대터널임을 고려하여 환기 및 방재용 수직터널이 신호장 구간의 1개소를 비롯하여 전후 구간에 각 1개소씩 총 3개소가 계획되었다. 교차통로는 병렬터널을 연결하는 통로

<표 1> 설계 요약

공 종	단선 병렬 터널 D터널
터널 시점	서원기(현) 81km955
터널 종점	서원기(현) 103km850
개착터널연장(시점/종점)	3m/5m
NATM 연장	21,887m
터널연장	21,895m
강문형식(시점/종점)	원통절개형
평면선형	R=2,510, R=4,990, 직선
종단구배	-24‰, -4‰
선로중심간격	단선병렬
도상형식	콘크리트

로써 유지관리를 위한 목적과 함께 비상시 대피기능을 위해 350m 간격으로 설치하였으며, 화재시 연기유입을 차단하기 위하여 이중 방연문을 설치하는 것으로 계획하였다.

3-3. 교차통로 설치간격 및 방연문 계획 검토

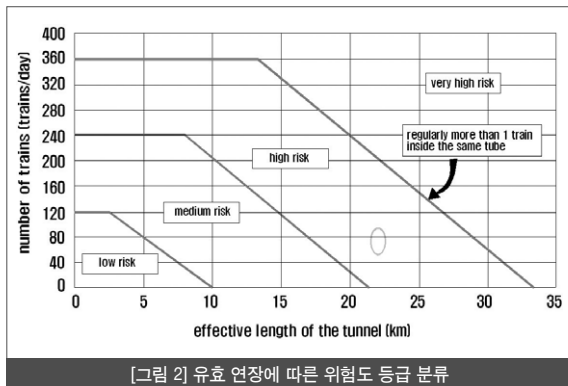
1) 교차통로 설치간격 검토

① 국내 유사 기준 · 국내 철도터널의 교차통로에 대한 적용 기준은 없으나 유사 대피시설인 대형대피소의 설치간격은 편측 800m 간격으로 양측 설치하도록 하므로 실질적으로 대피거리는 400m이다.

② 국외 교차통로 결정 방법에 따른 교차통로 간격 · 터널의 유효 길이에 따른 위험도 등급 구분에 의해 교차통로 설치간격(즉, 대피거리)을 결정하는 방법이다.

다음 그림은 터널의 유효길이에 따라 위험도 등급을 구분한 것으로 본 D터널 연장이 약 22km 이고 선로용량은 32~37대/일이므로 "high risk"의 위험도를 가지는 것으로 판단된다.

따라서 본 과업구간을 High Risk로 분류하였을 경우 교차통로 설치간격은 350m가 적정하므로 국내에서 일반적으로 적용되는 400m 간격에 비해 보수적인 350m를 적용하였다.



[그림 2] 유효 연장에 따른 위험도 등급 분류

〈표 2〉 위험도 등급에 따른 권장교차 통로간격

위험도 등급	추천 교차통로 설치간격	관련 설계기준
Low Risk	최대 1,000m	EBA Guideline
Medium Risk	500m	-
High risk	350m	-
Very High Risk	250m	NFPA 130 Standard

2) 사례조사를 통한 제연방식 검토

장대터널에서는 화재발생시 피난 및 소방관의 소화 활동을 위하여 연기를 제어(가압 및 배연)하여 피난 및 소화활동을 원활히 수행하여야 한다.

① 일본세이칸(靑函)터널(L=53.8km,복선)

구분	시설 현황	용도	비고
본선 터널	경사터널	제연용 × 2개소, 피난용 × 4개소	제연 : 승객의 피난 방향과 연기의 방향이 일치하지 않도록 제어
	수직터널	제연용 × 2개소	
	교차터널	38개소(평균거리 600m)	
	구난역	2개소	
	서비스 터널	23.2km	
그 외 방재설비	화재탐지설비, 조명설비, 비상방송설비, 유도등설비 등		

구난역 방재 설비

화재탐지설비, 조명설비, 제연, 비상방송설비, 유도등설비, 전화, CCTV, 물분무(스프링클러)설비, 소화전, 급수전, 원격제어 중앙감시실

② 고타트터널(L = 57km,단선병렬)

구분	시설 현황	용도
본선 터널	경사터널	제연용 × 1개소, 피난용 × 1개소
	수직터널	제연용 × 1개소
	교차터널	178개소(거리 325m)
	구난역	2개소
	그 외 방재설비	검토중

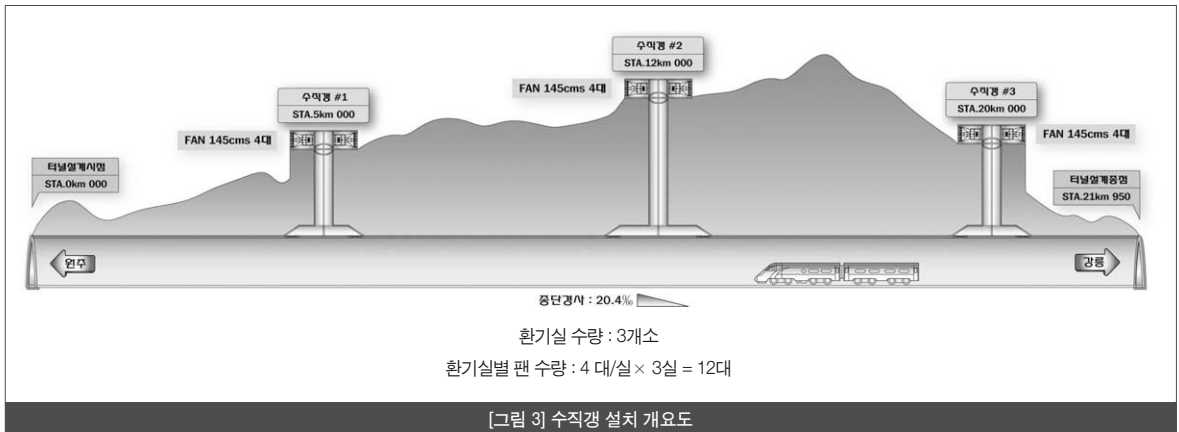
구난역 방재 설비

③ 적용 제연방식 선정

장대터널에 가장 사례가 많은 수직갱에 급기와 배기송풍기를 설치한 수직갱 송배기 방식을 적용하여 비상시 화재로 인한 피해를 예방할 수 있도록 하였으며, 수직갱은 RBM을 이용하여 굴착하는 것으로 계획하였다.

3) 방연문 설치검토

교차통로에는 연기확산 방지를 위하여 방연문을 설치하여 화재발생 터널에서 교차통로를 통하여 비화재터널로 대피한 승객이 장기



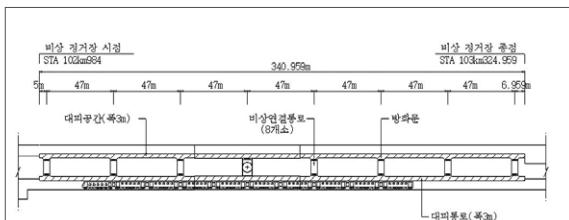
간 비화재터널에 머물러 있어야함으로 화재발생 터널로의 연기 및 열로부터 보호되기 위하여 방연문을 이중으로 설치하여야 한다.

4) 구난역 설계

장대터널에서 적용할 수 있는 비상시설 중 국내 및 해외에서의 구난역 설계사례를 살펴보면 영동선 동백~도계간 장대터널인 솔안터널(국내)과 Lötschberg Base Tunnel(스위스) 등이 구난역을 설치하여 비상시 활용할 수 있게 적용한 경우로서 다음과 같다.

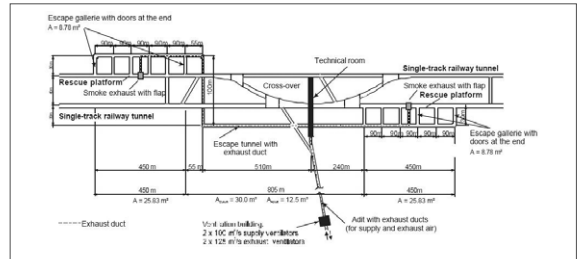
① 솔안터널의 구난역

구 분	세 부 사 항
터널연장, 선종	• 16.8km, 단선철도
구난역수	• 1개소
구난역 위치	• 터널연장의 중앙
구난역 용도	• 비상시 : 터널내 화재, 사고 등에 대비한 구난역으로 활용 • 평상시 : 단선터널이므로 상행선과 하행선이 터널에서 교행시에 열차의 대기공간으로 활용
구난역 길이	• 340m (여객 열차의 최대 길이 보다 최소 1.5배 이상 길이 확보)
구난역 비상통로 구난역 설비	• 8개소/47m마다 1개소 설치 • 제연설비, 소화기구, 옥내소화전설비, 포소화설비(포헤드), 자동화재탐지설비, 비상경보설비, 비상방송설비, 피난유도설비, 비상조명설비, 비상콘센트설비, 무선통신보조설비, 비상전원설비(UPS), 비상전화설비, 라디오재방송설비, CCTV설비, 연소방지설비



② Lötschberg Base Tunnel(스위스)의 구난역

구 분	세 부 사 항
국 가 명	• 스위스
준공예상년도	• 2007년
터널연장, 선종	• 34.6km, 단선병렬
구난역수	• 1개소
구난역 위치	• 터널입구로부터 20km에 위치
구난역 용도	• 본선 내 화재시 승객의 대피와 구조활동을 수행하기 위한 공간
구난역 길이	• 450m
구난역 비상통로	• 6개소/85m마다 1개소
구난역 설비	• 급기송풍기, 배기송풍기, 비상통로, 연결통로, 대피통로(승강장)



4 결 론

이상과 같이 장대터널의 건설을 위해 고려해야할 특성 및 일반터널과 다른 방재설비와 구조물(교차통로, 수직구, 방연문, 구난역)에 대해 알아보았다. 최근 늘어나고 있는 장대터널의 설계 및 시공사례로 볼 때, 이미 적용된 방식에 대해 분석하고 검증하여 벤치마킹함으로써 당사의 기술력을 더욱 견고히 하는 계기가 되었으면 한다. S

참고문헌

1. 장석부 등, "철도 장대터널의 계획과 설계", 유신기술회보, Vol.7., 2000
2. 윤지선 등, "터널공학", 구미서관, 1996
3. 한국터널공학회, "터널의 이론과 실무", 2002
4. 한국터널공학회, "터널기술강좌", 2006