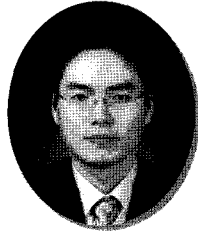
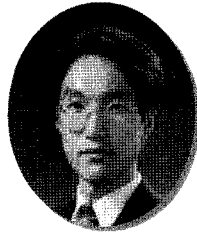


세계 최장 Gotthard Base 터널에 관하여



박 현 일
삼성건설 기술연구소, 수석연구원
(hyunil77.park@samsung.com)



홍 창 수
삼성건설 기술연구소



박 인 복
삼성건설 기술연구소

1. 공사 개요

고타드(Gotthard) 철도터널이 1882년 개통되었을 때 19세기 엔지니어링 역사상 놀라운 사건이었다. 현재 사용 중인 고타드 터널과 관련 구간을 대체하기 위한 사업으로 스위스 북부(독일권)과 남부(이탈리아권)를 연결하는 스위스 AlpTransit PJT의 일환으로 건설되는 철도터널이 Gotthard Base 터널이다. 1987년 최초로 구상된 이래, 화물운송과 여객수송을 위하여 리옹과 튜린을 연결하는 철도사업이 계획되었다. 동서의 철로축을 연결하는 이 연결선은 리옹에서 프랑스 TGV 고속철도망과 튜린에서 이탈리아 고속 철도망을 연결하는 것이다. 알프스 산맥을 관통하는 로취베르크(Lötschberg) 루트와 고타드(Gotthard)루트로 구성되어 있다. 그림 1에 나타나 있는 바와 같이 고타드 루트에는 침머베르크(Zimmerberg), 고타드 베이스, 세네리(Ceneri)의 3대 신설 터널로 구성되어 있다. 유럽 고속철도 네트워크에 포함되며, 2017년 개통(예정) 이후 쥐리히에서 밀란까지 여행시간이 약 1시간 단축가능(현재 4시간)하다.

이러한 새로운 연결선은 경제력을 갖는 지역들 간의 연계를 더욱 강화시킬 것이다. 화물 운송 측면에서도 현재 1000만톤/년 인데 반해 대략 1500만톤/년 이상 증가할 것으로 예상되고 있다. 이 터널은 알프스를 통과하는 57km의 복선 철도터널이다. 이 길이는 이전에 일본의 세이칸 54km 터널을 제치고 세계에서 가장 긴 단일 철도터널로 등극했다. 이로써, 세계 최장의 철도 터널로 고타드 터널(원래 15km연장)이 갖고 있던 명성을 탈환한 것이

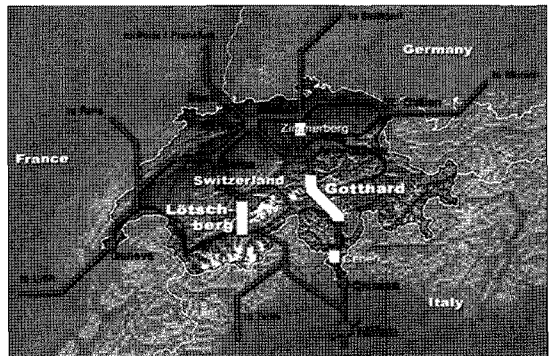


그림 1. 신설 터널 노선도

다. AlpTransit PJT 가운데 고타드 베이스(Gotthard Base) 터널에 대한 공사개요는 표 1과 같다.

표 1. Gotthard Base 터널 공사 개요

항목	내용
위 치	스위스 알프스산맥, Erstfeld(Ur사)~Bodio(Ticino사)
발주처	스위스 연방 철도공사(AlpTransit Gotthard AG)
공사금액	CHF(스위스프랑) 9.83 billion (US\$10.22 billion)
터널 총 연장	151.84km(수직구, 피난통로 포함)
터널 연장	57.07km
시공사	Erstfeld & Amsteg구간(ARGE AGN), Sedrun구간(Transco), Faido & Bodio(Consortio TAT)
개통일	2017년 예정

2. 시공

고타드 베이스 터널은 단선 병렬 터널로 구성되어 있는데 180m 마다 연결통로가 설치되어 있다. 연결통로는 한 터널에서 다른 터널로의 탈출로 역할을 한다. 공기와 원가를 최적화하기 위해 5개 구획으로 분할하여 동시에 굴

착하고 있으며, 각 구역별 시공사 및 공급업체는 그림 2에 나타나 있다. 5개 구획은 Erstfeld (L=7.4km), Amsteg (L=11.4km), Sedrun (L=6.8km), Faido (L=14.6km)와 Bodio (L=16.6km)이다. 단선병렬 터널로 피난연결통로는 약 325m 간격으로 배치되었다.

사업지역의 지질조건을 살펴보면 다음과 같다. 철로선은 알프스 산맥을 가로지르고 있는데 이 지역에 발달되어 있는 지질 구조인 UltraDauphinoise zone, Subbrianles이 많이 발달하여 있는 석회질 암 등과 같이 물성이 약한 것으로부터 강한 물성을 갖는 편마암이나 운모편암들이 분포하고 있다. 특히 이 지역의 암반에는 균열이 보통 이상으로 잘 발달되어 있으며 때로는 파쇄가 매우 심한 부분도 존재하고 있다.

설계된 터널은 서비스를 위한 보조터널 없는 Bu-tube 터널로서 한 터널은 반대편 다른 터널의 대피터널로 역할하며, 400m 마다 서로 연결되어 있다. 또한 연결 통로의 중앙부에는 Modane 구역에 보수-안전 대피소가 위치하고 있다. 터널 경사는 최대 12%이며 최대 피복층 높이는 2500m(터널 10km 이상이 피복층 높이 2000m)이다. 터널축 사이의 최소거리는 30m이고, 각 터널의 단면적은

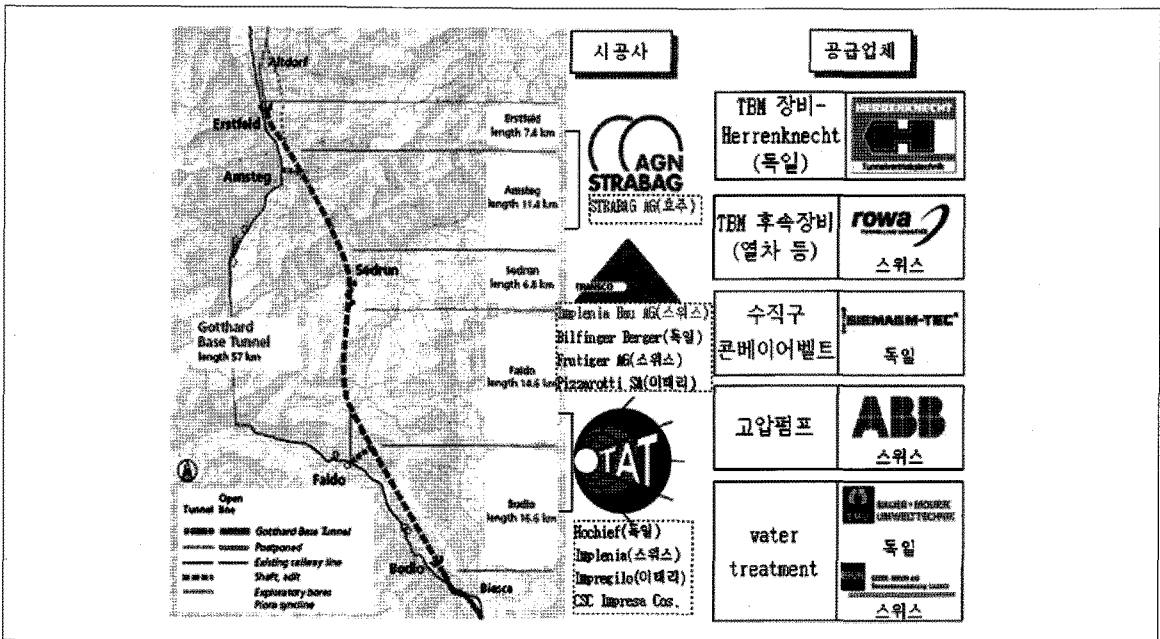


그림 2. 구간별 시공사 및 공급업체

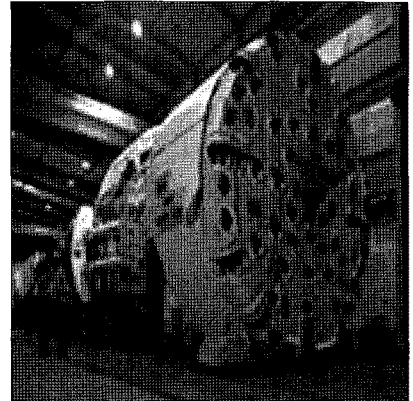
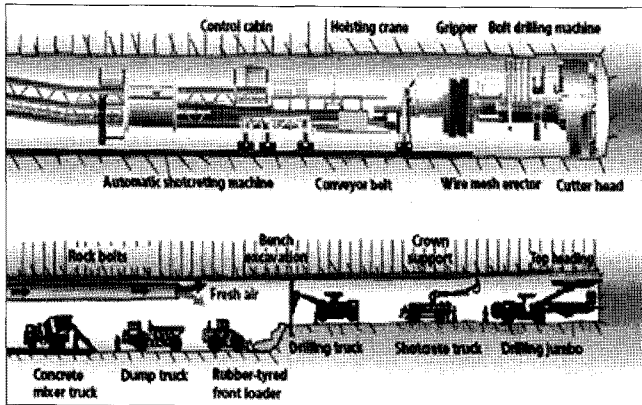


그림 3. 적용된 굴착 방식 및 TBM 장비

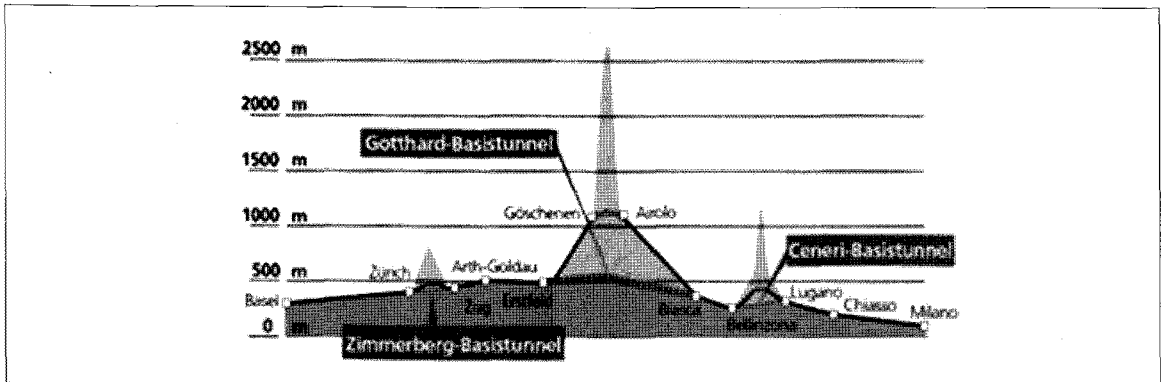


그림 4. 터널에 작용하는 지중응력

43m²로서 220km/h 고속열차 또는 차를 적재한 열차로 인한 밀폐공간을 순환하기에 적합하도록 설계되었다.

대부분의 터널 굴착에는 TBM 장비가 사용되었고 Sedrun 구획, 연결통로 및 접근 터널은 천공발파공법으로 굴착하였다. 일 굴진장은 임반조건에 따라 다른데, 높은 등급에서는 하루에 20m 굴진이 가능하나 나쁜 등급의 임반은 매1m 굴진시마다 강지보로 즉시 보강을 해야 하므로 일 굴진장이 1m에도 못 미친다. 특히 취성 암반의 경우에 숏크리트 두께가 다른 곳에 비해 두꺼워야 하는데 이것 또한 시간이 많이 걸리는 작업이다. TBM장비는 직경 8.8~9.5m 총 4대가 사용되었으며, Sedrun 구획, 연결통로 및 접근 터널은 천공발파공법으로 굴착되었다. TBM 일 굴진율은 0.5 ~ 30m이었으며, 총 TBM 굴진길이는 45km이었다.

3. 사용된 주요 기술

그림 4에 나타난 바와 같이 최대토피고 2500m를 견딜 수 있는 可縮性 지보재를 사용하였다. 주위 변형을 허용할 수 있는 可縮지보재 사용으로 터널 안정성을 확보하였으며, 사용된 U자형 지보재는 지반변형을 허용하여 점점 폐합되는 특성을 갖고 있다(그림 5).

토피고가 높아질수록 터널내부 온도가 상승하여 최대 45℃까지 이르기 때문에 지열로 인한 터널내 고열문제를 해결하기 위하여 약 30대의 냉각펌프를 사용하여 100만 리터의 냉수로 펌프열을 식히도록 하였다(그림 6).

장대터널에서 화재에 대한 안전문제에 대하여 방재대책이 수립되었다. 특히, 2001년 기존의 고타드 터널내부에서 2대의 탱크로리 충돌로 화재가 발생하여 2일간 지속

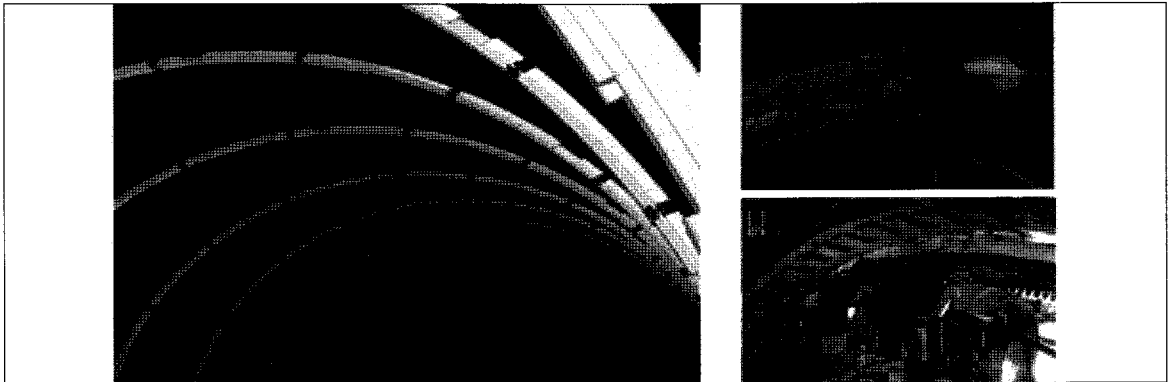


그림 5. 터널 시공에 사용된 지보재

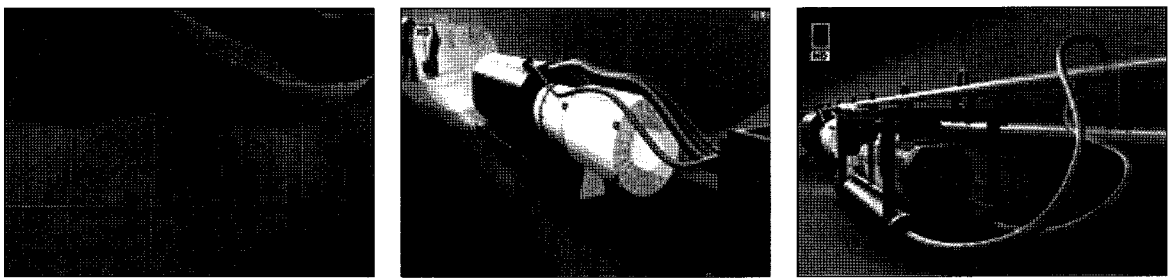


그림 6. 사용된 냉각펌프 개요도

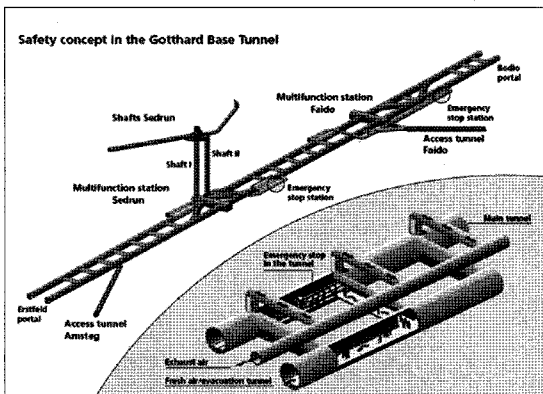


그림 7. Gotthard Base 터널 방재 연결 계획

되었으며, 11명이 사망하여 안전문제가 대두되기도 하였다. 고타드 베이스 터널은 단선병렬 터널로 이격거리는 40m이고 연결통로는 325m 마다 설치되어 있다. Sedrun과 Faido의 구난방재구역에는 건설선 및 궤도 작동장치와 환기설비가 설치되어 있다. 건설선은 비상시 열차가 다른 터널로 갈수 있게 한다. 화재 발생시 그 터널에

서는 연기를 배기시키고, 방재구난 역으로는 연결통로를 통해 신선한 공기를 불어 넣도록 설계되었다. 따라서, 장대터널 화재예방과 관련하여 Gotthard Base 터널 내부 Sedrun과 Faido 두 곳을 임시역으로 계획하고 수직구등의 환기설비를 설치하여 연기로부터 승객을 보호하고 대피시킬 수 있다(그림 7).

참고문헌

1. 박철환, 정소걸 (2000). 리옹과 튜린을 연결하는 알프스 관통 고속철도 터널건설사업, 한국암반공학회지, Vol. 10, pp. 17-24
2. Aerni, P. Z. K. (2000). New Gotthard Railway: A Technical Challenge, Structural Engineering For Meeting Urban Transportation Challenges