



알프스를 관통하는 고타드 베이스 터널의 노선.

강 상 혁 | 한국건설산업연구원 연구위원
shkang@cerik.re.kr

2010년 10월, 전 세계의 미디어는 스위스에 있는 57km 길이의 터널 관통 소식을 일제히 전했다. 그 터널은 바로 스위스 취리히에서 이탈리아 밀라노를 연결하는 고타드 베이스 터널(Gotthard Base Tunnel)로, 이것은 알프스 정상에서부터 약 2,000m 지하를 관통하는 세계에서 가장 긴 터널이다.

터널 건설 추진 배경

알프스 산맥을 통과하기 위해서는 고타드 패스(산 위를 가로지르는 도로)를 이용해야만 한다. 고타드 패스는 해발 2,000m가 넘으며, 아주 오랫동안 유럽 교역의 중추 역할을 담당해 왔다. 이 도로는 스위스와 이탈리아를 연결할 뿐만 아니라 독일을 비롯한 유럽

고타드 베이스 터널의 제원

구분	내용
위치	- 스위스의 알프스 산맥을 관통 - 스위스의 북부와 남부, 이탈리아의 밀라노까지 이어주는 핵심 통로
구조	두 개의 단선 터널 병렬
소유	스위스연방철도청(Swiss Federal Railways)
총공사비	약 103억 달러
공사 기간	1996~현재(2016년 정식 개통 예정)
공법	발파 및 Tunnel Boring Machine(TBM)
굴착 속도	20~25m/일
길이	57km(서울부터 안성까지 거리에 해당)
지름	8.8~9.6m
건설 목적	- 화물 트럭의 매연 제거를 통한 알프스 환경 보호 - 증가하는 교통량 해결을 통한 물류 증진 - 여행 시간 단축
굴착된 바위	2,800만톤(이집트 기자 피라미드의 5배에 달하는 물량)
고속철도 속도	250km/h
기차 통과 대수	200~250대/일
기타	325m마다 40m 길이의 연결 통로(gallery)를 설치하여 두 터널을 연결

북부 국가와 알프스 남쪽을 잇고 있다. 그러나 1980년 이후 교통량이 10배 이상 증가하여 환경 오염 및 교통 체증의 문제를 낳았다. 고타드 패스의 연간 대형 화물차 통행량은 120만 대에 달하고, 매 8년마다 두 배가 될 정도로 교통량이 비약적으로 증가하고 있다. 더욱이 알프스를 넘는 고타드 경로는 매우 험난하기 때문에 충분한 속도를 내기가 어려울 뿐만 아니라 알프스 정상부의 악천후는 차량의 이동을 빈번히 차단하였다.

이런 상황에서 스위스 정부는 1994년 의회의 조치를 취했다. 도로망을 확충하기는커녕 알프스 도로 건설 금지, 알프스 횡단 화물차 통과 대수 제한, 화물 수송 중량 규제, 알프스 통행세 부과 등의 관련 규제를 강화하였다. 이것은 당장의 교통 수요보다 환경 문제를 더욱 중요시했기 때문이다.

이후 스위스 정부는 증가하는 교통량도 원활하게

처리하면서 환경도 훼손시키지 않을 수 있는 대안을 강구하게 되었다. 이러한 배경에서 탄생한 것이 바로 알프스를 관통하는 고속철도를 건설하고, 이를 전 유럽 고속철도 교통망에 연결하는 거대 프로젝트인 '알프 트랜짓 프로젝트(Alp Transit Project)'이다. 고타드 베이스 터널은 이 프로젝트의 일부로 알프스 산맥을 관통하는 중추적인 역할을 한다.

터널 기술의 발전

고타드 베이스 터널 공사가 어떻게 수행되었는가를 살펴보기에 앞서 우선 터널 공법 발전의 역사를 간략히 소개하고자 한다. 현재 고타드 베이스 터널의 시공 기술은 지난 300여 년에 걸쳐 공학자들이 이루어낸 혁신적인 기술의 집약적 결정체이기 때문이다. 지난 수세기에 걸친 터널 기술 도약이 없었다면 아마도 고타드 베이스 터널의 시공은 불가능했을 것이다. 현재로선 특이할 것 없이 받아들여지는 기술들이 당시로서는 무모할 만큼의 혁신적인 '도전'이었다.

우선 굴착시 지반의 붕괴를 막는 기술이 그 첫 번째다. 19세기 초 영국의 한 토목공학자가 고안한, 굴착과 동시에 쉴드로 지반을 지탱하는 터널링 쉴드(shield)¹⁾ 공법은 당시로선 혁신 그 자체였다. 이 공법의 적용으로 영국의 템즈강 아래 지반을 관통하는 370m의 터널이 건설될 수 있었다.

두 번째 기술 도약은 19세기 중반의 발파 공법과 기계식 굴착이다. 발파 공법은 인력에 의존해 더디게 진행되던 굴착 속도를 비약적으로 증가시켰고, 기계식 굴착으로 수 km에 달하는 터널을 안전하게 뚫을 수

1) 원래 방패의 뜻으로 터널의 특수 시공에 쓰인다. 터널의 형상에 맞춘 강재(鋼製) 원통(방패)에 추진용 잭, 흙막이 잭, 세그먼트 조립기 등을 장치하여 추진용 잭으로 전체를 추진시켜 앞부분을 흙 속에 진입하면서 전면은 굴착하고 뒷부분에 세그먼트를 조립하여 시공하는 방식이다.

인류 역사와 함께한 건설 상품 100선 88

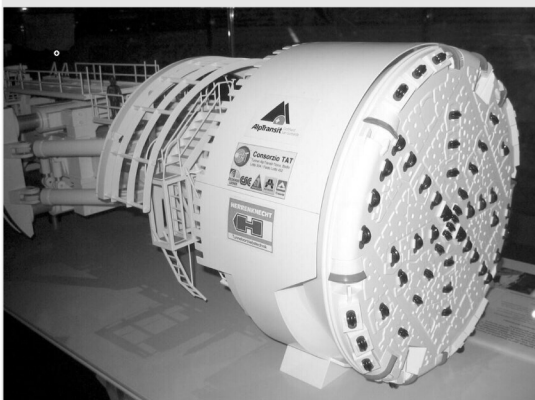
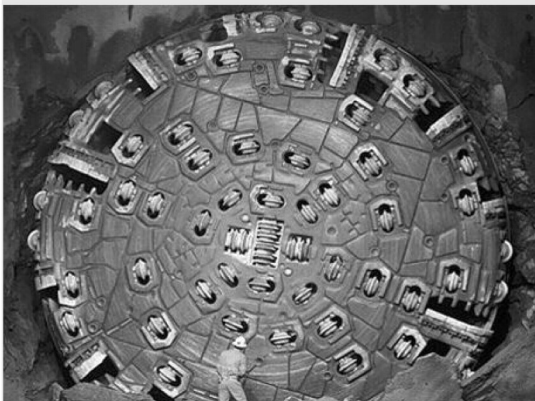
있었다.

이후 터널이 점점 길어지다 보니 새로운 도전 과제가 발생하였다. 바로 통풍 문제이다. 19세기 말 당시 터널 건설시 적지 않은 작업자들이 사망하였는데, 그 주요 원인은 열악한 통풍 상태였다. 하지만 강력한 송풍기와 교차 통풍관을 이용한 이중 터널 통풍 기술의 적용으로 긴 터널 공사시 작업원의 안전을 보장할 수

있게 되었다.

그 다음은 정확한 측량 기술이다. 터널은 지하에서 작업이 이루어지기 때문에 지상의 측량 방법과는 다르다. 이를 극복하기 위해 레이저를 이용한 측량 방법이 개발되어 다시 한 번 기술 도약이 이루어졌다. 이를 증명하듯 영국해협을 채널 터널은 양 측면에서 공사를 시작해서 중간 지점에서 만났는데, 그 오차가 몇

천공 기계



터널 내부



cm에 불과했다.

마지막으로, 터널 운영 중 이용자의 안전을 제고하는 기술이다. 터널은 폐쇄된 공간으로 인해 일단 사고가 나면 대형 사고로 이어져 다수의 사상자를 내게 된다. 그렇기 때문에 이용자의 안전을 보장할 수 있는 터널 구조를 확보하는 기술이 매우 중요하다. 그래서 최근의 터널은 비상 대피 장소를 설치하고 터널간 연결 통로를 건설하는 등 유사시 안전을 보장하기 위한 다양한 기술 도약이 이루어지고 있다.

국민투표 4번 거쳐

고타드 베이스 터널 공사를 착수하기까지는 많은 난관을 거쳐야만 했다. 우선 공사비부터 어마어마한 액수다. 미화로 약 103억 달러에 달하는 공사비가 소요되었고, 프로젝트 기간은 20년에 가깝다. 1992년 이 터널의 기획 단계부터 착공까지 네 번의 국민투표가 치러졌다. 1차는 노선을 선정하기 위해, 2차는 자금 조달 방법을 확정하기 위해, 3차는 화물차 통행료 부과 문제를 해결하기 위해, 그리고 마지막으로 4차는 EU와의 계약 체결을 위해서였다.

마침내 1992년 알프 트랜싯 프로젝트 진행 여부를 결정하는 국민투표에서 64%의 찬성으로 1996년에 공사가 시작되었다. 두 개의 터널을 굴착하기 위해 네 지점에서 동시다발적으로 공사를 시작했으며, 두 터널을 중간 중간 잇기 위해 325m마다 연결 통로가 설치되었다. 터널 시공에는 발파와 TBM공법(천공 기계로 굴착하는 방법)이 적용되었다. 4개의 천공 기계를 이용해 하루 20~25m의 속도로 굴착을 했으며, 매일 3,000~5,000톤의 암석이 반출되었다. 천공 장비의 무게는 3,000톤, 길이는 440m이고 지름은 무려 10m에 달한다(사진 참조). 총 굴착된 암석은 2,820만

톤에 이르며 부피로는 1,330만 m^3 이다. 이것은 이집트 기자 피라미드 5개 분량과 맞먹는다.

2016년 고속철도 개통 예정

고타드 베이스 터널 건설의 목적은 화물 트럭이 내뿜는 연간 2,000만톤의 매연을 없애 알프스의 환경을 보호하는 것이다. 당시 매년 120만대 가까운 화물 트럭이 고타드 패스를 이용하고 있었고, 교통량은 지속적으로 증가하는 추세였다. 이는 이동 수단을 도로에서 철도로 변경해 환경 오염을 줄이자는 취지다.

또한, 여객 열차 운행을 통해 여행 시간을 대폭 줄일 수 있는 것도 이 터널 건설로 얻어지는 편익이다. 고타드 베이스 터널 건설을 통해 취리히에서 밀라노까지 소요 시간을 기존보다 1시간을 줄이고, 루가노까지는 1시간 40분을 줄인다.

고타드 베이스 터널의 구조는 단선 병렬로 오른쪽 방향은 스위스의 취리히를 향하고, 왼쪽 방향은 이탈리아의 밀라노를 향한다. 2015년부터 시험 운행을 개시하고, 2016년 12월에는 정식으로 개통되어 시속 250km의 고속철도가 운행될 예정이다.

터널 기술의 결정체

터널은 태생적으로 땅 속에서 태어나 거기에서 일생을 보내야 하기 때문에 건축물이나 교량처럼 스포트라이트를 받으며 멋진 자태를 뽐낼 수가 없다. 그저 어두운 지하에서 사람들의 편리한 이동을 위해 묵묵히 지반의 무게를 견디고 있을 뿐이다. 하지만 터널의 보이지 않는 기저에는 수많은 건설공학자들의 발명과 기술 도약이 있었다. 57km라는 기념비적인 고타드 베이스 터널은 인류가 이룩한 터널 기술의 결정체라 할 수 있다. CERIK