

# Tunnels for People

[ '97 국제터널학회를 다녀와서 ]

이성민 / 연구개발부 과장, 김영구 / 연구개발부 대리

기 간 : 1997년 4월 7일 ~ 4월 19일

목 적 : '97 국제터널학회 참석,

터널/지하공간 분야의 기술 동향 파악 및 자료 수집

출 장 지 : 스위스 쥐리히, 오스트리아 비엔나

**당**사 기술연구소에서 G-7 과제  
의 일환으로 수행 중인 연구 과  
제 '고속전철 터널기술 개발사  
업' 과 관련하여, 4월 7일부터  
19일까지 터널/지하공간 분야에 대  
한 기술 동향 파악 및 자료 수집을 목  
적으로 '97 국제터널학회에 참석하  
였다. 아울러 터널 설계 및 자문 전문  
회사인 스위스의 Heierli사를 방문하  
여, 터널 건설 기술과 관련하여 토의  
를 갖고 Heierli사가 설계한 현장을  
방문 견학하였다.

금번 '97 국제터널학회는 음악의  
도시이며 NATM 공법의 발원지이기  
도 한 '오스트리아의 비엔나'에서 개  
최되었다. 국제터널협회(ITA)와 국  
제암반공학회(ISRM)가 공동 주최한  
번 행사는 "Tunnels for People"이  
라는 주제로 전세계의 터널 및 지하  
공간 분야의 전문가들이 참석한 가  
운데 성황리에 개최되었다. 장소는  
비엔나 구 시가지에 위치한 Stephen  
성당 근처의 Hofburg 왕궁 내의 국

제 회의장이었으며, 그 맞은 편에는  
약 100여 년 전에 지어진 유럽 최대  
박물관의 하나인 미술사 박물관과  
자연사 박물관이 화려하고 웅장한  
르네상스 양식의 아름다움을 뽐내고  
있었다.

국제터널학회 참석에 앞서 우리는  
'스위스 쥐리히에 위치한 Heierli사'  
를 방문하였다. 7일 밤 파리 공항을  
경유하여 쥐리히 공항에 도착한 일  
행은, Heierli사의 터널 담당 전문 기  
술자인 Peter Kleiner씨의 안내를 받  
아, Heierli사 근처의 깨끗하고 아담  
한 호텔에 투숙하였다. 이 호텔은, 대  
부분의 쥐리히 지방 건물과 마찬가지로,  
건물 외부의 치장보다는 내부  
의 깨끗한 시설물과 검소한 장식이  
인상적인 건물이었다.

다음날 Heierli사를 방문하여 '터  
널 관련 기술 전반에 관한 질의와 토  
의 시간'을 갖고, 터널의 방·배수  
시스템 및 라이닝 등과 관련하여 많  
은 의견을 교환하였다. 우리 나라와

마찬가지로 스위스도 산악 지형이  
발달되어, 일찍부터 터널 및 지하공  
간 분야의 개발이 이루어졌기 때문  
에, 그들과의 토의는 많은 도움이 되  
었다.

스위스 터널의 대부분은 배수형으  
로서, 파쇄가 심하거나 투수도가 높  
은 암반의 경우, 그라우팅을 통한 차  
수층을 형성함으로써 지하수 유입량  
을 최소화시키고, 시공 후의 유입수  
는 터널 내부의 배수 시스템을 이용  
하여 배수시키는 방법이 주종을 이  
루고 있었다. 특이한 점은, 터널 전단  
면에 걸쳐 방수막을 설치하였을 경  
우라도, 터널 내부에 배수 시스템을  
갖추도록 설계한다는 사실이다. 이  
는 터널 내부에서 발생하는 오수(터  
널 벽면 청소 시 발생)라든가 터널  
벽면의 누수로 발생할 수 있는 유입  
수의 처리를 위한 것이라고 한다. 스  
위스의 비배수형 터널에 대한 허용  
누수량에 대한 기준은, 대부분 독일  
의 기준을 따르고 있었다. 일례로 독



일 지하교통시설연구협회(STUVA)의 실용 터널 허용 누수량 기준은 0.28 l/min/100m으로 상당히 엄격한 편이다.

스위스의 지질 분포 특성상, 대부분의 암반은 팽창성 광물질을 내포하고 있다. 따라서 터널 라이닝 설계시, 우리나라에서 일반적으로 적용되는 자중, 수압, 암반 사하중 외에 팽창압이 추가로 적용된다. 이러한 하중 하에서도 스위스 터널의 라이닝은 특수한 경우를 제외하면 무근 콘크리트 사용을 원칙으로 하고 있으며, 30~80년 경과된 터널 라이닝이 안전하게 유지되고 있는 사실을 들어 철근의 불필요성을 증명하기도 하였다.

터널 관련 기술 전반에 관한 토의를 마친 후, Kleiner씨의 안내로 쥐리히 철도의 모든 노선이 통과하고 Limmat 강변에 위치한 '쥐리히 중앙 역사'와, 조형미가 아름다운 'Stadelhofen 역사 및 인접한 철도 터널'을 견학하였다.

쥐리히의 대중 교통 수단은 시내 전체를 거미줄처럼 엮고 있는 지상 전철과 버스를 중심으로 편리하고 쾌적하게 운영되고 있었다. 부러움 점은 승용차와 같은 개인 운송 수단을 제외하면 모든 교통 수단(버스 포함)이 전기를 사용한다는 것이다. 따라서 시내의 교통 수단에 의한 대기 오염 매체는 승용차와 일부 운송 수단으로 제한적이며, 이들 조차도 신호 대기 시간이 길어질 경우에는 시동을 정지시키기 때문에, 에너지 소비를 최소화함과 동시에 최대한 쾌

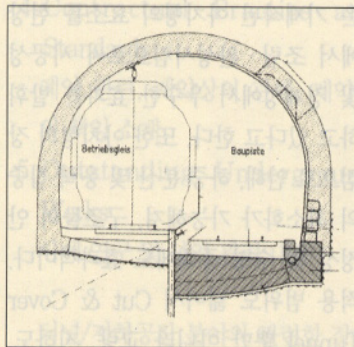


Heierli사 회의실에서의 토의 모습

적한 대기 상태를 유지하고 있었다.

2. 3일차에는 Heierli사 측의 안내로, 쥐리히 인근의 터널 및 사면 구조물을 견학하였다. 그 중 인상적이었던 세 개 현장을 소개하고자 한다. 먼저, 85여 년 전에 석조 라이닝으로 시공된 터널의 보수 현장으로서, 1.5km 연장의 도심지 복선 철도 터널인, 'Rosenberg Tunnel'이다. 이 현장은 시민의 불편을 최소화하기 위해, 한 쪽 노선의 운행 방향 및 노반의 안전 대책을 수립한 후 교대로 철

도 노반 및 터널 벽면 보수 공사를 진행시키고 있었다. 주요 공사 내용은, 터널 단면 확대를 위한 노반 및 배수로를 낮추는 공사, 케도 이격 거리를 넓히는 공사, 누수가 발생한 터널 벽면의 보강 공사, 터널 바닥면 Invert Concrete 타설 공사 등이었다. 스위스 지역의 경우, 노후한 터널 구조물이 많은 관계로 터널 보수 (Rehabilitation, Renovation)와 관련된 설계 및 시공이 활발히 이루어지고 있다고 한다. 우리나라에서도



터널 보수 개념도  
Rosenberg Tunnel, Switzerland



터널 보수 현장  
Rosenberg Tunnel, Switzerland





BEBO System을 최초로 적용한 현장(30여년 경과)



사면 보강 현장, 일정 간격으로 앵커 설치가 누락된 공간이 있다.

터널의 유지·보수 문제가 많이 대두되고 있는 시점이며, 이러한 터널 보수 현장 견학은 매우 유익한 경험이 되었다. 특히 그들의 철저한 품질 관리와 발주처, 감리·감독과의 즉각적인 의견 교환 및 설계 변경의 용이성은 우리 나라 건설 시장 현실에 비추어 볼 때 매우 부러운 면이었다.

다음은 Cut & Cover Tunnel의 일종인 'BEBO System'을 소개하고자 한다. 이는 Heierli사에 의해 개발된 아치형의 철근 콘크리트 요소를 조립함으로써 터널 형상의 구조물을 형성시키는 건설 공법이다. 우

리 나라의 경우 대부분 Box형의 구조물을 Cut & Cover Tunnel에 적용시키는 데 반해, BEBO System은 기계화된 아치형의 요소를 현장에서 조립·완성시킴으로써 시공성 및 경제성에서 우수한 효과를 발휘하고 있다고 한다. 또한 아치형의 장점으로 인해, 하중 분산 및 응력 집중의 최소화 가능해져, 구조물의 안정성 및 수명 증대에도 효과적이다. 적용 범위도 넓어서 Cut & Cover Tunnel뿐만 아니라 교량, 지하도, 격납고, 대피소 등 다양한 시설에 적용할 수 있는 조립형 구조물이다. 이

시스템은 우리 나라의 전통적인 아치형 교량과 비슷한 모양 및 동일한 원리를 채택하고 있어서, 비록 Heierli사가 특화시킨 사업이기는 하나 우리 나라에서도 얼마든지 채택될 수 있는 공법으로 생각되었다.

마지막으로 인상적이었던 견학 현장은 터널과는 관계가 없지만, 채택된 아이디어가 참신하여 소개하고자 한다. 철도 노반이 개설된 절토 사면(경사도가 완만한 산허리에 위치한 사면임)의 장기적인 대단위 사면 활동을 방지하기 위한 '사면 보강 현장'이었다. 사용한 공법은 간단한 것으로서, 미리 제작한 앵커 고정용 콘크리트 블록을 사면에 거치한 후 천공과 앵커 삽입, 그라우팅 과정을 거쳐 앵커에 인장력을 가한 후 고정시키는 공법이다. 특이한 점은 앵커의 설치 회수였다. 최초 설계에서는 안전율 1.25 이상을 확보할 수 있도록 앵커의 간격 및 설치 회수를 설정한다. 그러나, 실제 시공시에는 일정 간격마다 앵커 설치 공간만을 확보한 채 앵커 설치를 누락(5회당 1회 누락)시킴으로써 안전율을 1.10 정도로 떨어 뜨려 시공을 종료한다. 이후 계측기에 의한 관찰을 실시하여, 추후 계속적인 변위가 관측되면 확보된 공간에 추가로 앵커를 설치하게 된다. 이러한 방식은 공사비 및 공기를 절약할 뿐만 아니라, 과다 설계에 대한 대비책으로서도 훌륭한 역할을 하게 되어, 설계자의 아이디어가 경제적, 공학적으로도 큰 공헌을 한 사례라 하겠다.

12일, 스위스에서의 일정을 마친



터널 굴착 공법의 채택에 있어, 유럽의 경우 발파식 공법보다는 TBM, Shield, Roadheader 등의 기계화 굴착 공법의 채택이 일반화하는 추세를 보이고 있다. 기술 전시회에 참석한 업체들 중에도 기계화 굴착 장비 분야의 업체가 상당수를 차지하고 있어 기계 굴착 분야에 대한 선진국 등의 높은 관심도와 장비 개발에 대한 발달된 기술 수준의 일면을 엿볼 수 있었다.

일행은 인상 깊었던 쥐리히를 떠나 '97 국제터널학회 개최지인 '오스트리아의 비엔나'로 이동하였다. 화창하였던 쥐리히의 날씨와는 달리 비엔나의 날씨는 우리 나라의 꽃샘 추위 때와 비슷하였다. 이런 날씨는 학회 기간 내내 계속 되어 - 눈발이 날리고 우박이 쏟아지기도 하는 등 매우 번덕스러웠음 - 겨울옷을 준비 못한 일행은 학회 기간 동안 여러 겹의 옷을 꺼입고 다녀야 했다.

학회장이 위치한 Hofburg 왕궁은, 1918년까지 오스트리아 황제가 기거했던 곳으로 지금은 대통령 집무실로 이용되고 있다. 이곳에는 다양한 박물관과 신성 로마 시대 이래의 귀중한 보물들이 소장되어 있는 보물실을 비롯해 황제의 방 등이 있어 많은 관광객과 방문객들이 다녀가는 곳이다. 또한 왕궁 내 성당에서 거행되는 매주 일요일 예배에서는 천사의 노래라는 오스트리아 빈 소년 합창단의 공연을 관람할 수 있어 음악 애호가들의 발길이 끊이지 않는 곳이기도 하다. 실지로 입장권을 구하기 위해 이틀 동안 줄을 섰던 한국 배낭 여행객을 만나기도 했다.

학회의 진행은 연구자들의 학술 발표가 진행되는 "Scientific Session"과 "Poster Presentation", 터널 및

지하공간 관련 장비 및 신재료, 신공법, 신기술 등이 전시되는 "Technical Exhibition"으로 나누어 진행되었다. 학술 발표는 5개 주제에 대하여 이루어졌으며, 각 부분의 주제 및 내용을 간략히 소개하면 다음과 같다.

#### 1. Design and Construction

터널/지하공간의 설계, 시공 전반 조사, 설계 변수, 암반-토사의 분류, 역해석, 위험률 분석, 품질관리, 문헌조사

#### 2. Choice of Tunnelling Method

일반 터널 굴착 공법 및 기계화 공법 지질, 지반공학, 안전, 환경, 경제성 등과 관련한 사례 및 기준

#### 3. Mechanized Tunnelling and Tunnel Factoring in Squeezing Ground

기술, 개념 및 향후 경향에 대한 고찰

#### 4. Contractual Practice and Standards

계약 관련, 계약상의 관계, 계약상의 책임 소재

#### 5. Outstanding Underground Works

사례 연구 및 사업 관련 내용

터널/지하공간 분야와 관련한 장비 및 신재료, 신공법에 관한 전시회는 학회장 1층에 마련된 별도의 공간에

서 개최되었다. 세계 각국의 60여 개 업체가 참여하여 활발한 자사 선전 및 제품 소개 활동을 펼쳤으며, 특이한 것은 설계 및 자문 관련 회사들의 참여 및 영업 활동이 두드러졌다는 사실이다. 참여 회사들 중에는 국내에서도 낯익은 Atlas Copco, BUM, Dyno Nobel, Geoconsult, Geodata, Geokon, Itasca, NGI 등의 회사들도 있었으며, 각종 국제 학회를 알리기 위한 공간도 마련되어 다양한 정보를 접할 수 있었다.

학회 기간 동안 배수 시스템 및 라이닝과 관련하여 스위스와는 또 다른 접근 방식을 경험할 수 있었다. 오스트리아에 건설되는 도심지 터널 대부분은 비배수 터널로 설계·시공되고 있었으며, 방수 방법이 있어서도 방수막 외에 고강도 수밀 콘크리트를 사용하는 방식으로 소기의 목적을 달성하고 있었다. 아울러 스위스와는 달리 라이닝에 있어서 철근의 사용은 보편화 되었으며, 라이닝의 두께는 보통 40cm정도를 유지하고 있었다. 두 나라 모두 자기 나라의 지질 조건과 터널 환경에 적합한 시스템을 개발하여 건설 현장에 적용하고 있는 것이다. 우리 나라의 경우에도 이들과 같이 우리 실정에 맞는 공법을 하루 빨리 개발하는 것이 우리 건설업



계의 당면 과제가 아닌가 하는 생각을 하게 되었다.

또한 터널 굴착 공법의 채택에 있어, 유럽의 경우 발파식 공법보다는 TBM, Shield, Roadheader 등의 기계화 굴착 공법의 채택이 일반화하는 추세를 보이고 있어, 우리 나라와는 차이가 있는 것으로 생각되었다. 기



World Tunnel Congress '97 기술전시회

술 전시회에 참석한 업체들 중에도 기계화 굴착 장비 분야의 업체가 상당수를 차지하고 있어 기계 굴착 분야에 대한 선진국 등의 높은 관심도와 장비 개발에 대한 발달된 기술 수준의 일면을 엿볼 수 있었다.

재료 분야에 있어서는 지보재에 대한 기술 개발이 상당히 발달되어 있었다. 우리 나라에서는 시험적으로 사용되고 있는 '쑏크리트용 강섬유'가 이미 일반화되어 있었으며, 강지보(Steel Rib) 보다는 격자 지보(Lattice Girder)의 사용이 일반화된 추세였다. 아울러 격자 지보와 유사한 신재료도 개발되어 현장에 활용되는 상용화 단계에 접어들고 있었다. 록 볼트의 경우, 우리나라에서 일반화된 전면 접착형 록 볼트 외에도 다양한 형태와 새로운 개념의 록 볼트

가 개발되어 전시되고 있었다. 이들 모두의 특징은 고정되고, 정형화된 재료나 공법을 사용하기보다는, 각 현장 여건에 가장 적합한 공법과 재료를 개발하고 변형시킴으로써, 최고의 안정성, 경제성 및 시공성을 이루고자 한다는 것이다.

금번 국제터널학회 참가 및 관련 회사 방문을 통하여 터널/지하공간 분야의 최근 기술 동향 및 선진 기술을 접해 볼 수 있어 매우 유익한 경험과 기술 파악의 기회가 되었다.

특히, 우리의 기술 수준과 외국의 선진 기술을 비교할 수 있는 좋은 기회가 되었고, 우리의 현재 기술 위치와 부족한 면을 파악할 수 있는 시간을 가질 수 있어, 앞으로의 연구·개발 업무에 훌륭한 촉매제가 되었다고 생각한다. SS

## 건축용어 2

**Prepacked Concrete 공법** 굵은 골재를 거푸집에 미리 채워 넣고 그 공극 속에 특수 몰탈(모래+시멘트+물+Fly Ash, 고로 Slag)을 압력으로 주입해서 만드는 콘크리트 공법. 보통 콘크리트에 비해 수중시공이 유리하고, 동결 융해 저항성이 크고, 부착강도가 큰 이점이 있다.

**Tremie 공법** Tremie의 출구를 막고 수중에 넣고 콘크리트를 타설하는 공법으로 Tremie의 선단이 항상 콘크리트에 묻히게 하고 Tremie에는 콘크리트가 가득 채워져 있어야 한다.

**섬유보강 콘크리트 (Fiber Reinforced Concrete)** 콘크리트의 인장 강도와 균열에 대한 저항성을 높이고 인성을 대폭 개선시킬 목적으로 몰탈 또는 콘크리트 속에 금속, 유리 또는 합성 수지 등을 원료로 한 강섬유, 유리 섬유, 폴리머 섬유, 탄소 섬유 등의 장·단 섬유를 고르게 분산시켜 만들어진 복합재료이다. (SFRC, GFRC, CFRC, VFRC)

**중성화** 공기 중의 탄산가스의 작용을 받아 콘크리트 중의 수산화칼슘이 서서히 탄산칼슘으로 되어 콘크리트가 알칼리성을 상실하는 현상을 말한다.

**Mass Concrete** 대규모의 철근콘크리트 구조물의 기초나 기둥 또는 보 등과 같이 단면이 큰 부재에 사용되는 콘크리트를 말하며, 보통 부재 단면의 최소 치수가 80cm 이상이고, 내부 최고온도와 외기온도의 차가 25℃ 이상으로 예상되는 경우를 말한다. 콘크리트에 사용되는 재료의 품질이나 환경 등의 조건이 같으면 내부온도의 상승량은 부재의 최소단면이 클수록 일반적으로 크게 된다. Mass Concrete에서는 시멘트의 수화열에 기인되는 온도 응력에 의한 균열의 발생이 문제가 된다.

**알칼리 골재 반응** 콘크리트 속에 존재하는 알칼리(NaO, K<sub>2</sub>O)와 골재에 포함된 알칼리 반응성 광물질 성분이 반응하여 그 생성물이 수분을 흡수하여 팽창되며 콘크리트에 균열, 파괴 혹은 Pop-Out을 일으키는 현상으로 콘크리트의 내구성이 저하된다.

**Cold Joint** 응결하기 시작한 콘크리트에 새로운 콘크리트를 이어지면 콘크리트의 일체화가 이루어지지 않는 현상으로 주로 서중 콘크리트 타설시 콘크리트의 응결 진행 속도와 이어붙기 시간 상의 관계가 있다.