

## 아치구조물을 이용한 반개착 터널공법

### New construction method for shallow overburden tunnel using H-beam and braced wall



GS건설 기술연구소 선임연구원  
나상민



GS건설 기술연구소 수석연구원  
조성한

#### 1. 서론

저토피 구간은 터널공사 구간 중 구조적으로 가장 취약한 부분이다. NATM 공법의 특성상 압반의 자체 지지력을 최대한 활용해야 하는데, 저토피 구간의 경우는 이러한 압반의 자체지지력이 발현되기 힘들기 때문이다. 저토피 구간을 굴착하는 방법으로는 개착공법과, 보조공법을 이용한 터널보강공법이 있다. 개착공법의 경우는 시공성협은 풍부하고, 안정성도 확보되지만, 과도한 사면절취로 환경파괴, 시공성 저하, 사후 유지관리 등의 문제점이 있고, 터널보강공법으로 시공할 경우에는 주변 환경을 보호할 수 있으나, 시공비 측면과 보강효과 검증 등의 문제가 제기된다. 최근 터널의 장대화 추세에 따라 저토피 구간의 증가가 나타나고 있고, 환경파괴를 최소화하는 설계 개념이 반영되어 갱구 설치 시 토피를 최소 2~3m 정도를 확보하고 지형, 지질조건을 고려하여 갱구부 위치를 선정할 것을 요구되고 있다. 따라서 갱구부 및 저토피부 굴착 시 기존의 터널보강공법과 개착터널공법의 단점을 보완하여 공사비 절감 및 공기를 단축하면서 환경친화적인 개념이 도입된 새로운 공법에 대한 연구가 요구되고 있다.

국외 사례를 살펴보면 일본, 독일 등에서는 저토피 개착부 및 터널 저토피 갱구부에 콘크리트 slab를 이용한 굴착공법을 적용한 사례가 있다. 콘크리트 slab를 이용한 굴착공법은 저토피 구간에서 원지반을 터널 천단아치에 해당하는 지점까지만 굴착하고, 콘크리트 slab를 설치하여 복공한 후 터널을 굴착하는 공법으로 기존 개착공법의 사면 과다절취와 보강공법의 고비용 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 대표적인 공법으로는 독일 (Sauer, 1992, Sauer 등, 2001)에서 개발된 Frame Slab 공법으로 일본 및 유럽 등지에서 적용된바 있고, 국내에서는 Carinthian Cut-and-Cover 공법이 소개되어 설계에

# 기술기사

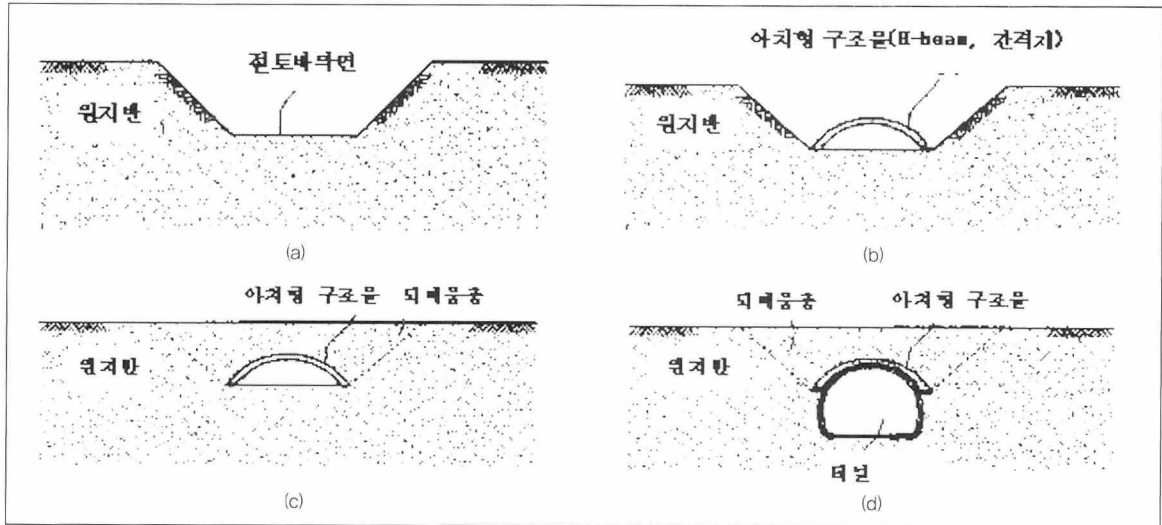


그림 1. Construction sequence of half cut-and-cover method

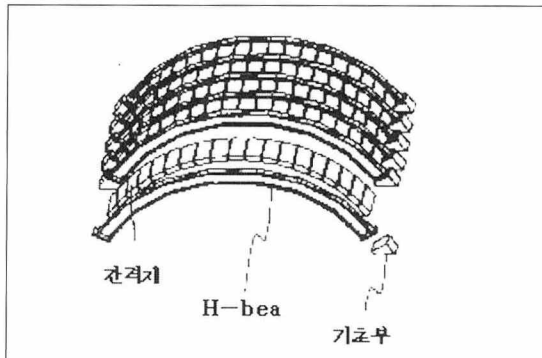


그림 2. Sketch of developed arch slab structure

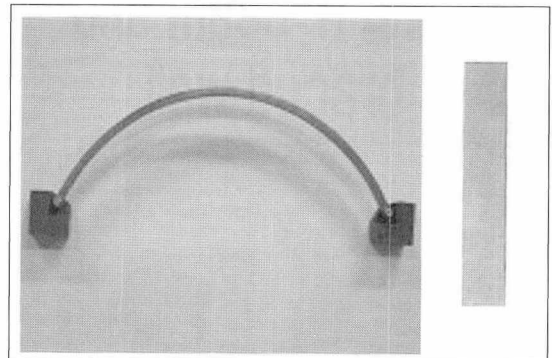


그림 3. Steel bar and bakelite

적용된 바 있다.

## 2.2 아치형 구조물의 거동특성

BRAM 공법에 사용되는 아치형 구조물의 거동특성을 규명하기 위하여 실내모형실험 및 대형토조 실험을 실시하였다. 실내모형실험에서는 아치형 구조물의 거동특성을 정성적으로 파악하는데 목적을 두었고, 대형토조 실험에서는 실내모형실험에서 관찰된 결과들을 바탕으로 정량적 결과를 도출함으로써 실제 설계 및 시공에 이용 가능한 자료를 얻는데 목적을 두었다.

### 2.2.1 실내모형실험

실내모형실험에서는 터널 하부 굴착시 발생할 수 있는 지점부 이완문제에 대처하고자 아치형 구조물의 지점부에 발생할 여러 가지 침하 양상에 따라 굴착사면의 경사와 토피고를 변화시키면서 인접지점부 및 사면부로의 하중전이 양상에 대하여 파악하고자 하였다.

모형실험에서 아치형 구조물의 H-beam은 강제로, 토류관은 베이클라이트(그림. 3, 4)로 구성하였다. 각 지점부와 사면부에서 하중을, H-beam에서 스트레인게이지의 변형으로 모멘트 변화를 측정하였다.

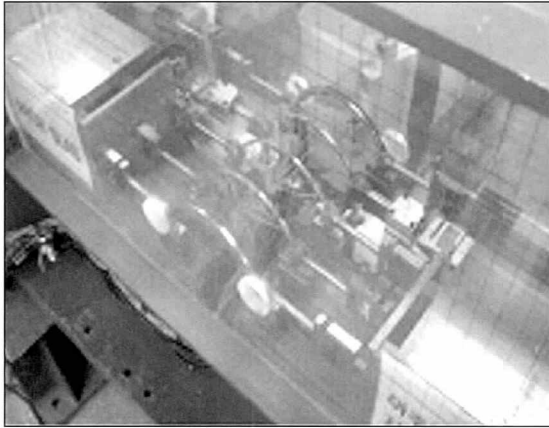


그림 4. Sketch of the H-beam model

실험방법은 모형토조 중앙의 Beam III의 지점부에 표 1과 같은 6가지 변위(d1 ~ d6) 조건을 발생시켰으며, 지점의 변위로 인해 나타나는 인접지점부와 사면부로의 하중전이 양상을 파악하였다. 실험변수는 표 1과 같다.

되메움에 따른 사면부의 토압분포와 지점침하에 따른 사면부의 토압변화를 측정하기 위하여 사면부에 로드셀을 설치하였다. 사면부는 그림. 5와 같은 세그먼트로 제

표 1. Summary of experimental variable.

실험변수		
사면경사	60°, 90°	
토피고	0.5D, 1.0D, 1.5D (D : 터널직경)	
지점변위	한쪽 지점 변위	양쪽 지점 변위
조건	수직(d1), 수평(d2), 축방향(d3)	수직(d4), 수평(d5), 축방향(d6)

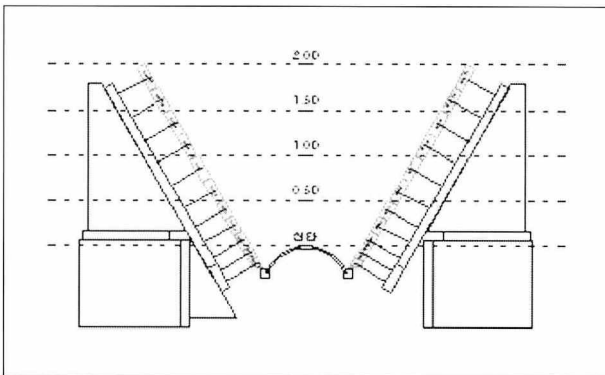


그림 5. Arrangement of load cells and an experimental model

작했다.

## 2.2.2 대형토조 실험

대형토조 실험은 실제에 가까운 규모로 시공방법을 그대로 재현하여 실험을 수행함으로써 가장 실용적인 결과를 도출하는데 그 목적이 있다. 그림. 6은 대형토조 실험에 사용된 아치형 구조물 및 지점부 조성에 관련된 그림이다.

실험은 되메움과정과 지점변위과정의 두 단계로 실행하였다. 되메움과정에서는 성토고에 따라 지점에 작용하는 하중의 크기를 파악하여 성토고에 따른 H-beam에 하중으로 작용하는 토체의 크기를 규명하고, 지점침하과정에서는 한 아치형 H-beam의 양 지점이 수직방향으로 침하가 발생하는 경우 인접한 지점부로 전이되는 하중의 양상과 크기를 규명하는 것을 주요점으로 두었다. 사면경사는 60°로 제작하고 H-beam간 간격은 1m로 하였다.

되메움과정은 주문진표준사를 사용하여 한 층을 20cm씩 일정한 다짐도를 유지하며 조성하고 계측을 실시하였다. 되메움은 터널천단으로부터 2.7m까지 실행하였다. 지점침하과정은 Beam III의 양 지점에 10mm까지 일정한 속도로 수직변위를 가하여 그에 따른 주변지반의 거동과 인접한 지점부의 하중전이 양상을 파악하였다.



# 기술기사

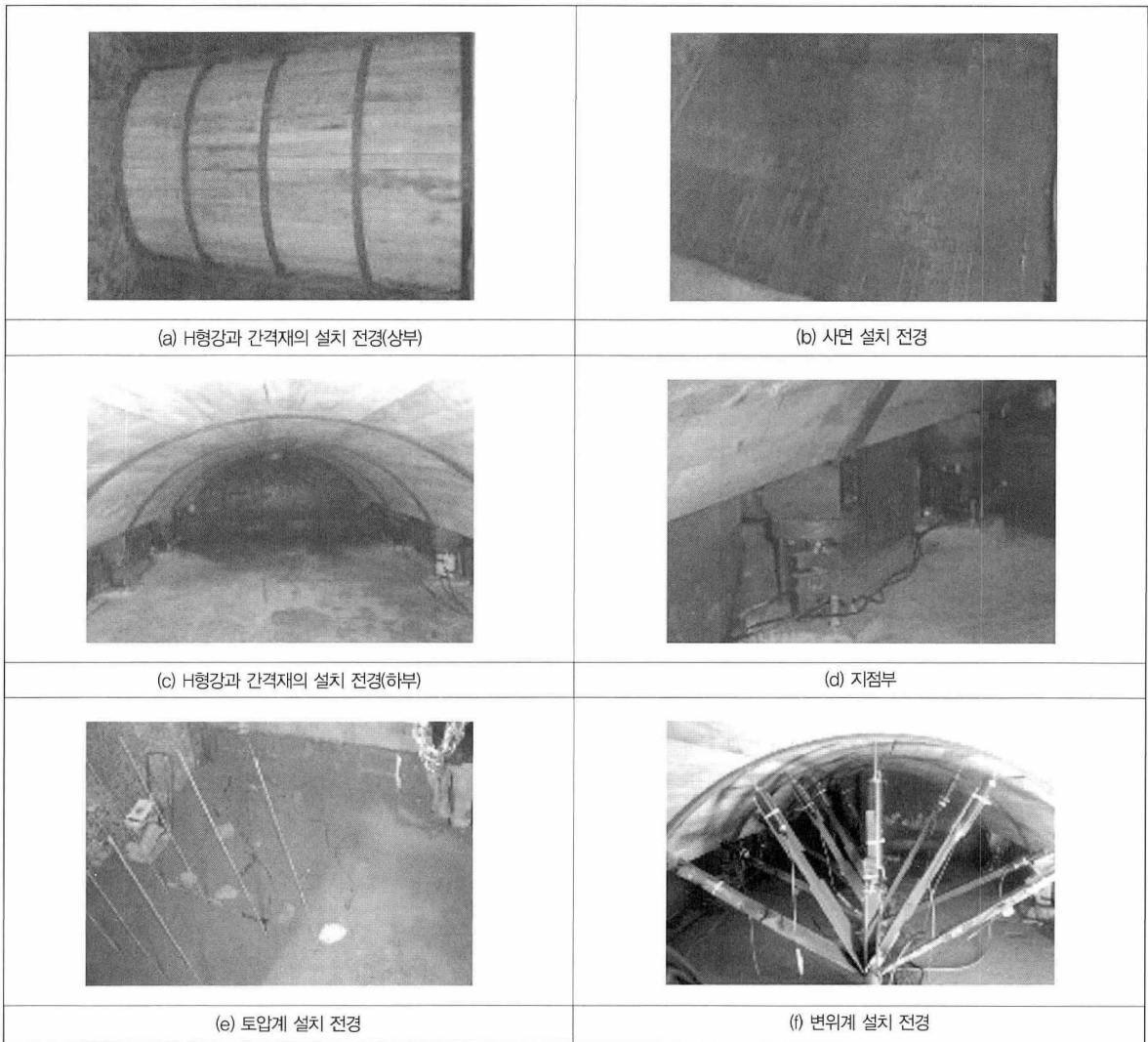


그림 6. Large size experiment model

## 3. 실험결과

### 3.1 되메움에 따른 지점하중

- 되메움과정에서의 지점반력은 성토고가 증가할수록 성토고에 비례하여 증가하지는 않았다. 즉 지점 작용 하중의 증가량은 성토고가 증가함에 따라 감소하였으며 일정값에 수렴하는 경향을 나타냈다 (그림. 7).

이로 미루어 일정 토피고 이상에서는 아칭효과에 의해 H-beam에 작용하는 하중의 증가량이 미미할 것으로 판단된다.

### 3.2 지점침하에 따른 인접 지점부의 거동

실내모형 실험에서는 굴착사면의 경사와 토피고를 대형토조 실험에서는 토피고를 변화시키면서 지점부에 변

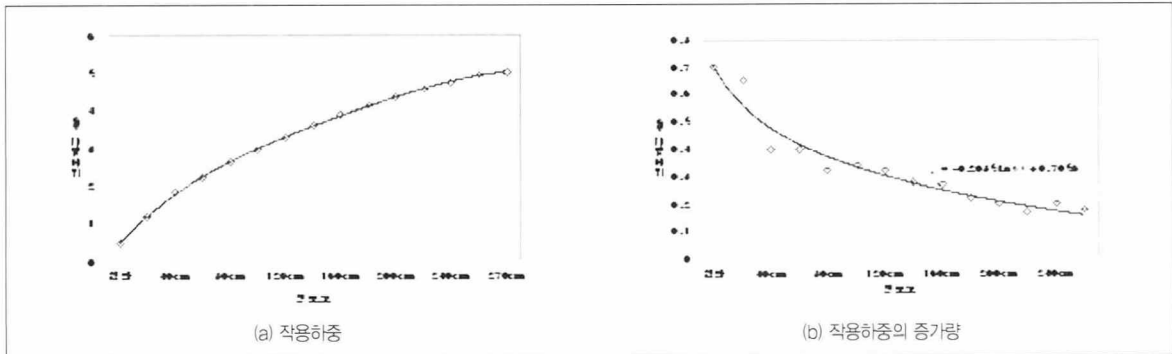


그림 7. Load increase with refilling height

위가 발생하는 경우 인접지점부와 사면부의 하중변화에 대하여 파악했다.

- 토피고 0.5D인 경우에는 침하가 발생한 지점에 바로 인접한 지점부의 하중증가량은 비교적 멀리 떨어진 지점부보다 큰 것으로 나타났다. 반면, 토피고가 1.0D 이상인 경우에는 침하가 발생한 지점에 바로 인접한 지점부보다 비교적 멀리 떨어진 지점부에 하중증가량이 큰 것으로 나타났다. 즉, 토피고가 증가할수록 종방향 아칭의 범위가 커져 침하가 발생한 지점에서 멀리 떨어진 지점하중이 증가하는 것으로 나타났다.
- 지점변위에 따른 인접 지점부로 전이된 하중의 비율은 토피고에 관계없이 유사하였으며, 다만 감소한 하중에 대한 비율은 토피고가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 반면, 사면부로 이완된 하중은 토피고가 증가함에 따라 증가하는 경향이 나타났다. 즉, 토피고가 증가할수록 지점변위로 발생하는 하중전이량의 인접 지점부 담당하중 비율은 감소하고 사면부 담당하중 비율은 증가했다.
- 대형토조 실험에서는 지점변위 과정에서 한 지점에서의 변위로 인한 인접 지점부로의 하중전이 효과가 미미한 것으로 나타나 부분적인 지점하부 약화 상황

으로 인한 인접 지점부로의 과도한 하중증가 양상은 나타나지 않는 것으로 확인되었다.

### 3.3 지중 토압

대형토조 실험에서 지점변위에 따른 지중토압의 변화를 계측하기 위하여 지중토압계를 설치하였다. 계측결과 변위를 발생시킨 H-beam의 상부에 하중이 가장 크게 변화하였으며 주변으로 멀어질수록 하중변화가 작았다. 토압측정을 통하여 변위발생에 의한 토체의 아칭에 의한 효과를 확인하였다.

## 4. 결 론

저토피구가 터널통과를 위한 H-beam과 토류판을 이용한 반개착식 굴착공법인 BRAM에 대하여 소개하고, 공법에서 제안한 아치형 구조물의 거동양상에 대하여 실험적으로 규명하였다. 주요 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 개발공법은 기존의 개착공법에 비하여 절토량과 절토면적이 적어 터널공사로 인한 환경피해가 저감되는 공법이다.

(2) 개발공법에서 사용한 H-beam과 토류판을 이용한

## 기술 기사

아치형 구조물은 기존의 아치슬라브 공법과 비교하여 아치형 굴착면을 형성할 필요가 없고, 현장에서 부재들의 간단한 조립에 의해 시공됨으로 시공이 용이하다.

(3) 되메움 과정에서 지점 작용하중의 증가량은 성토고가 증가함에 따라 감소하였으며 일정값에 수렴하는 경향을 나타냈다.

(4) 토피고가 증가할수록 지점변위로 발생하는 하중전 이량의 인접 지점부 담당하중 비율은 감소하고 사면부 담당하중 비율은 증가했다

(5) 부분적인 지점하부 약화 상황으로 인해 지점부 침하가 발생하여도 인접 지점부로의 과다한 하중증가 양상은 나타나지 않는 것으로 확인되었다.

## [참고문헌]

1. 이상덕, 최수일, 구자갑(1994), 안정된 지하구조물의 설계 및 시공, 도서출판 새론
2. 정명근, 박치면, 이호, 김승렬(2001), "프레임 슬래브 공법을 적용한 천층터널의 시공법 연구", 한국지반공학회 봄학술발표회
3. 정용진, 남현우, 최호식(2005), "복개 구조물을 이용한 저토피 계곡부 터널의 통과방안에 대한 연구", 2005 지반공학 공동 학술발표회, pp. 312 ~ 313
4. Na, S.M., Lee, S.J., Cho, S.H. and Lee, S.D. (2006), "Experimental study on the mechanical behavior of the rib arch structure", Rock Mechanics in Underground Construction, pp. 467.
5. Sauer, G.(1992), "The Schurzgerg Tunnel. Oberrieden", Sept., Proc, 1st International Symposium on Tunnel Construction and Underground Structures, Ljubljana, Slovenia, Chap.2, pp. 151 ~ 165
6. Sauer, G., Zeidler K, Gall Vojtech.(2001), "Doorframe Slab Method, Barrel Vault Method and Conventional NATM"



(주) 주 촛 돌 E.N.C

K. S. E &amp; C

◎ 도로 및 단지설계

◎ 설계검토 및 기술자문

◎ 연약지반 및 터널설계

◆ 서울시 서초구 서초동 1339-7호 청화빌딩 3F ◆

▶ TEL: 02-587-8776

◎ 가시설 및 지반조사

◎ 사면보강 및 기초설계

◎ 계측관리 및 측량

▶ FAX: 02-587-8978