

# 운용중인 도로터널의 개수 사례(남산 2호 터널)



**이영남**  
현대건설기술연구소 소장

**김대영**  
현대건설기술연구소 선임연구원

**조성일**  
현대건설(주)국내토목 부장

## 1. 서론

우리나라의 근대적 터널건설은 초기 광산의 개발과 함께 산업이 급속히 발달해왔으며 이시기에 대부분이 건설되었다. 우리나라의 터널은 1980년대 이전에는 ASSM(American Steel Support Method) 공법이 주로 사용되었으며, NATM(New Austrian Tunnel Method) 공법이 도입된 이후 터널 건설기술이 비약적으로 발전하게 되었다.

터널은 토목구조물의 하나로서 일정한 수명을 가지고 있으며 이 수명동안 터널의 기본적인 역할을 원활히 수행하기 위해서는 주기적인 유지관리가 필요하다. 오랜 기간이 경과되어 터널의 기본적인 역할수행에 문제가 있거나 이로 인하여 많은 인적·물적 피해가 예상된다면 이는 터널로서의 존재가치가 떨어지게 된다. 손상의 정도에 따라 손상이 경미한 경우 구조물의 기본 역할을 수행할 수 있도록 부분적으로 보수 및 보강을 실시하는 방법이 있으며, 손상이 심한 경우 신설되는 터널 수준의 품질을 갖도록 전면적으로 개수를 실시하는 방법이 있다.

현재 국내에서는 한정된 공간, 시간 및 경제적 제약으

로 인하여 구조물들의 신설이 극히 제한을 받고 있으며, 이와 더불어 앞으로는 구조물의 신설보다는 기존의 구조물에 대한 개·보수에 많은 관심이 집중될 것으로 판단된다. 이러한 상황에서 국내 최초로 이루어진 터널의 전면적인 개수공사의 성공적인 수행은 국내 터널기술을 한 단계 끌어올리는 좋은 기회가 됐으며, 추후 시행되는 터널의 개수공사에 대한 시금석이 될 것으로 생각된다.

## 2. 남산 2호 터널의 현황

### 2.1 공사의 목적 및 범위

#### 2.2.1 공사의 목적

남산 2호 터널 개수공사는 서울특별시 중구 장충동과 용산구 이태원동을 연결하는 남산 2호 터널(연장 약 1,621m)의 노후화로 인하여 실시하는 것으로서 실시설계·시공일괄방식(Turn-key II)으로 발주되었다. 남산 2호 터널의 개수공사는 도시지역 보조 간선도로로서의 기능을 원활히 수행할 수 있도록 장래 예상되는 교통 수요

에 부응하여 토목, 건축, 전기, 통신 및 기계설비분야 등의 종합적인 시설사업이다. 또한, 설계의 전문성과 건설업체의 우수한 기술능력을 접목하여 기술개발유도 및 기술수준향상을 도모하여 안전하고 신속한 해체, 재시공 및 보수·보강 등이 복합적으로 포함된 공사이다.

- 방재 및 비상시설의 철거 및 재시공
- 계측 및 제어감시 시설의 철거 및 재시공
- 남산 2호 터널 건설당시 굴착된 사갱 2개소에 대한 보강
- 기타 부대시설

### 2.1.2 공사의 범위

- 터널 내부 구조물 및 콘크리트 라이닝의 철거 및 재시공
- 터널 내 포장의 철거 및 재시공
- 터널 시·중점측 갱문의 철거 및 재시공
- 터널 시·중점측 옹벽의 보수 및 미관을 고려한 외관 처리
- 관리사무소(2개소)의 철거 및 재시공
- 터널과 환기실 연결 환기덕트의 철거 및 재시공
- 터널 환기시설 및 기계설비의 철거 및 재시공
- 전기설비의 철거 및 재시공

### 2.2 기존 터널 구조물의 현황

남산 2호 터널은 1970년 12월에 준공(동아건설)된 길이 1,621m의 2차선 터널로서 재래식 터널공법(ASSM)으로 건설되었다. 이 터널은 개통 이래로 그림 1에 나타난 바와 같이 서울 중심부에 위치한 남산 북동방향의 장충동 일대 교통과 남서방향의 이태원 일대 교통을 연결해 주는 도로 터널 기능을 수행해 왔다.

남산 2호 터널은 시점부를 장충동측 갱문으로 취했을 때 시점부에서 약 316m의 반경을 가지는 곡선을 이루고 있으며 그 이후부터 중점부까지 직선을 이루는 평면선형

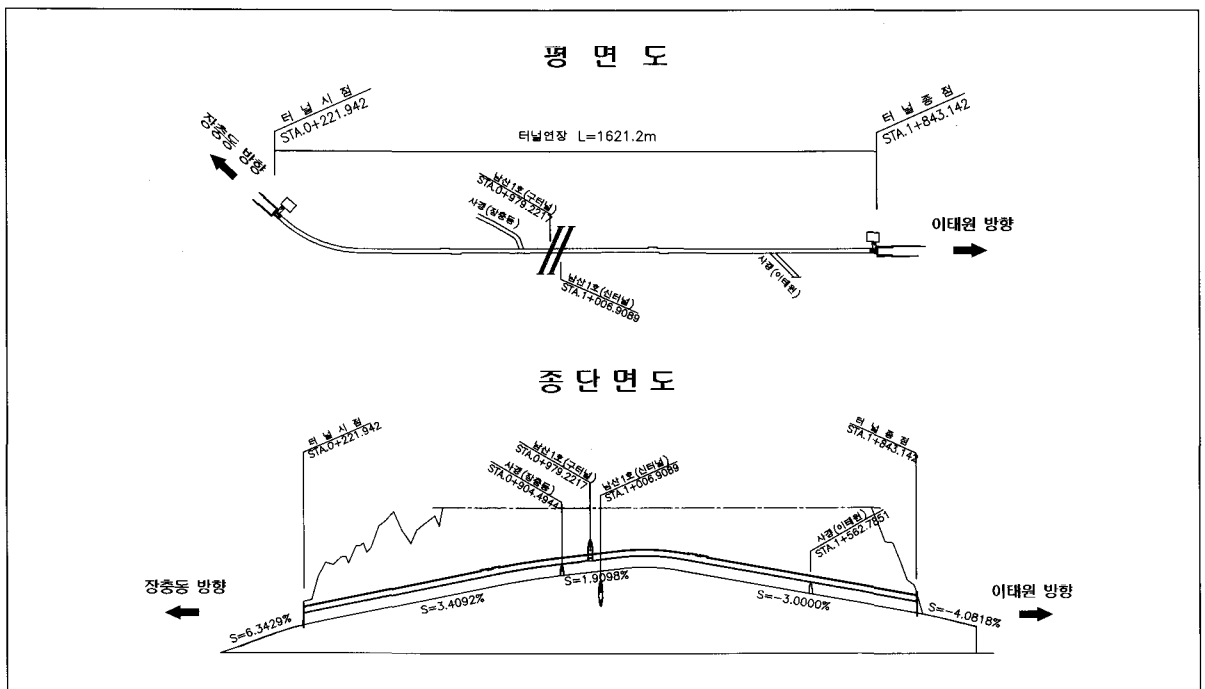


그림 1. 남산 2호 터널의 종평면도

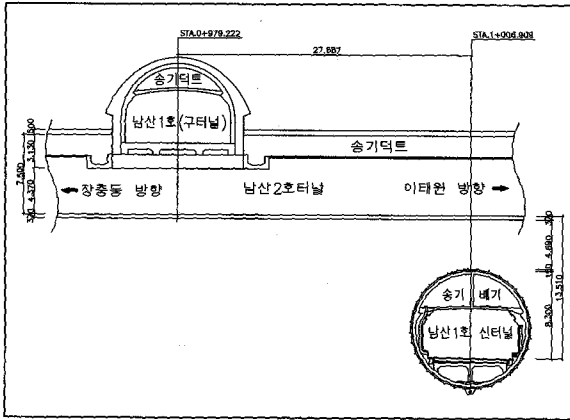


그림 2. 남산 1, 2호 터널 교차부 현황

을 가지고 있다. 또한, 종단선형은 시점과 종점에서 터널 중심부를 향하여 각각 3.4%, 3.0%의 상향경사를 이루고 있다. 특이한 사항은 장충동 입구로부터 약 680m 지점(장충동측 사갱)과 약 1,340m 지점(이태원측 사갱)에 신설 당시 버력반출 등 시공용으로 사용된 공사용 사갱이 있다. 이 두 개의 사갱은 각각 터널에서 국립극장 방향과 배드민턴 운동장 방향으로 상향경사(약 9%)를 이루며 지상과 연결되어 있으며, 현재는 출입부가 모두 쓰레기 등으로 매립되어 있는 상태이다. 또한, 이태원측 사갱 개구

부(지상인접부)는 무근 콘크리트 라이닝 형식의 민방위시설(병커구조물)이 설치되어 있으며 오래전에 사용이 중단된 상태이다. 특히, 본 개수터널의 주요 관심대상은 남산 1호 구터널 교차부 지역에 있다. 그림 2에 나타난 바와 같이 1호 구터널 교차부는 2호 터널 시점 약 757m지점에서 남산 1호 구터널의 바닥부가 노출된 상태에서 교차되고 있으며, 남산 1호 신터널의 경우 2호 터널 하단 약 4.3m의 이격거리를 두고 교차하고 있다.

터널은 2차선 대면교통흐름을 가지고 있으며 최대 폭원이 그림 3에 나타난 바와 같이 준공당시에는 9.6m이었으나, 1976년 1차 대보수시 환기덕트의 판넬구조물을 설치하여 약 8.0m로 줄어들었다. 그 이후에도 여러 차례의 크고 작은 보수가 이루어졌다. 터널갯문 형식은 시, 종점부 모두 면벽식이며 입구 좌우에 중력식 옹벽이 설치되어 있다. 터널의 유지관리를 위해 시점과 종점에 각각 1개소씩 관리동 사무소가 위치하고 있다.

### 2.3 공사 수행 배경 및 추진 경위

남산 2호 터널은 도시 지역보조간선 도로로 1970년 12

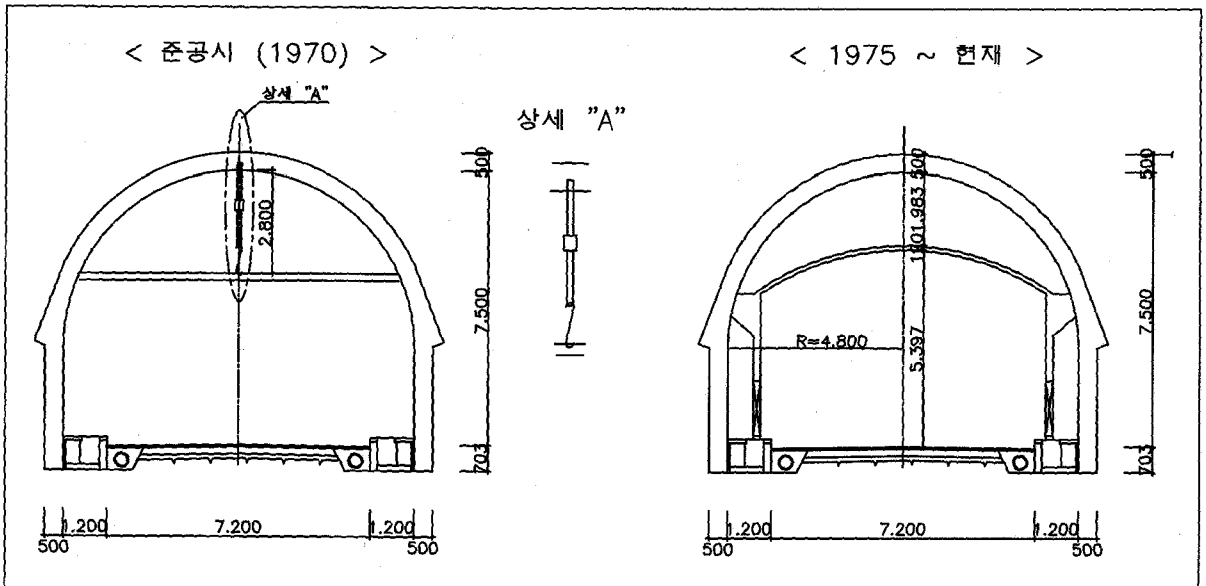


그림 3. 준공당시의 단면 및 철거단면

월에 건설되어 약 30년 동안 사용된 구조물이며, 정밀안전진단 결과 구조물의 내하력이 떨어지고 터널 벽체에 균열 및 배면공동이 발견되어 도로의 기능을 유지하기 위한 안전성 확보에 문제가 제기되었다. 1996년 정밀안전진단 조사결과 콘크리트 라이닝 및 터널부대시설의 전면 개·보수가 시급하다고 판단되었으며, 개수공사의 시행을 위하여 1998년 3월 기본설계를 발주기관에서 완료하고 공사의 중요성, 난이도, 시급성을 감안한 철저한 품질관리, 안전관리, 공사중 교통처리대책 등의 정교하고 완벽한 계획의 수립이 요구되었다. 또한, 공사의 중요도로 인해 과학적인 공정관리를 실시하고 부실공사의 요인을 사전에 예방함과 동시에 최단 기간내 공사를 완료함으로써 공사로 인한 우회도로 이용에 따른 기회손실비용과 불편을 최소화할 수 있도록 하였다.

### 3. 터널 개수공사의 특성분석 및 설계 착안 사항

개수공사의 수행에 있어 발주자가 요구하는 시설물의 기능, 품질 및 내구성 등의 시설수준의 충족을 위해 사업의 특성을 분석하였는바, 이는 터널의 기능을 항목별로 분석하고, 본공사와 관련된 조사 및 진단자료를 이용하여 그 결과를 공학적으로 비교, 분석하여 시공 및 설계에 반영하였다.

#### 3.1 기능분석

본 사업은 터널의 기능면에서의 개수공사라기 보다는 안전적 확보 측면에서 노후화된 시설의 개수공사이므로 개수공사시 기능면에서의 효율을 증대시킬 수 있는 방안을 검토하였고 또한 터널내 사고로 인한 차량의 비상대피를 위해 양측방향 각2개소, 총4개소의 비상주차대를 신설하였다.

남산 2호 터널은 서울의 도심지 터널로서 유사시 사고로 인하여 발생할 수 있는 터널의 기능 상실로 인한 보수

공사시 인근 도로에 미치는 교통혼잡을 방지하기 위해 남산 1호 터널과의 교차부를 비롯한 다양한 환기 Case를 적용하여 검토되었으며, 대면교통 터널내에서의 교통사고 방지를 위하여 중앙분리대를 설치하고 중앙에 도로표지판을 설치하여 운전자의 안전운전을 유도하도록 계획하였다.

#### 3.2 공학적 분석

##### 3.2.1 라이닝의 철거 및 신설

기존터널 라이닝의 상태를 조사한 결과 부분적으로 균열, 박리파손, 백화, 철근노출 등 구조적 품질 저하가 발견되었으며 암반의 이완하중, 잔류수압 등의 하중이 고려된 부재로서의 설계가 되지 않은 것으로 판단되어, 신설 라이닝 계획시에는 자중, 암반이완하중, 잔류수압, 온도하중, 건조수축, 공동채움하중을 고려한 철근콘크리트 라이닝( $t=30\text{cm}$ )으로 설계하였다. 또한 균일한 콘크리트 라이닝 단면확보를 위해 기존의 라이닝 철거 후 설계굴착 기준선까지 굴착면 정리를 계획하였으며, 기존 라이닝의 균열을 비롯한 불규칙한 라이닝 두께 등의 구조물 조사 결과를 해체공법 선정에 적용하여 공사의 효율성을 도모하였다.

##### 3.2.2 터널지지 암반

이미 굴착된지 약 30년이 된 지지암반에 대한 평가는 매우 어렵고 또한 콘크리트 라이닝으로 폐쇄되어 있는 상태로 전 터널 구간에 대한 조사에는 한계가 있다. 그러나 수차례의 터널 정기안전점검을 통해 나타난 천단부 및 배면의 여굴 또는 공동이 재래식 터널공법으로 인한 여굴인지 혹은 굴진후 지반거동에 의한 공동인지의 원인을 규명할 수 있도록 조사하였다. 또한, 굴진된 본선터널의 라이닝에 암반의 이완하중이 작용하고 있는지의 여부를 파악하기 위한 라이닝의 변형을 측정결과 활용 및 지지암반에 대한 공벽변형시험을 실시하였다. 그리고 재래식 공법에 의하여 굴진된 굴착면에 대해 기존라이닝 철거후 암반면

표 1. 보수, 보강 현황

시기	보수, 보강 현황
1985.	방수공사 : 1,942 m <sup>2</sup>
1986. 6~1986. 7	옹벽도장 : 1,272 m <sup>2</sup>
1988. 4~1988. 7	소화관배관 : 1,860 m, 소화관설치 : 33면
1989. 2~1989. 12	타일시공 : 7,372 m <sup>2</sup> , 벽체시공 : 3,373 m <sup>2</sup> , 콘크리트 벽체 : 4,484 m <sup>2</sup>
1989. 10~1989. 11	관리사무소 정비
1990. 3~1990. 12	옹벽 및 기계실 외벽도색 : 4,927 m <sup>2</sup>
1992. 5~1992. 7	터널내 환기덕트 방수공사 : 742 m <sup>2</sup>
1992. 9~1992. 9	도로바닥 방수 : 30 m
1993. 1~1993. 2	내부 구조물 벽체타일보수 : 80 m <sup>2</sup> (붕괴직전 벽체보수)
1994. 10~1994. 11	누수지역 보수 : 6개소, 미세균열 보수 : 4개소
1995. 7~1995. 8	터널 내부라이닝 보강공사 : 392 m <sup>2</sup>

을 재평가하여, 라이닝 해체후 NATM이론에 의한 구간별 지지압반평가 및 지보패턴을 적용하였다.

## 4. 터널 개수공사의 설계 및 적용

### 4.1 조사 및 분석

#### 4.1.1 기존 조사자료

남산 2호 터널은 재래식공법(ASSM)으로 시공되어 약 30년 동안 시민에게 교통편의를 제공해 왔으며, 1976년 1차 보수이래 크고 작은 보수를 실시하였고 최근 3차례에 걸친 정밀안전 진단이 이루어졌다. 이들을 표 1과 표 2에 나타내었다.

#### 4.1.2 지반조사 및 분석

신설터널의 설계를 위한 조사는 터널굴착에 따른 지반의 거동상태를 분석하기 위하여 실시되지만 개수터널의 경우는 기존터널의 구조를 해체시 거동특성을 분석하기 위하여 실시한다. 따라서, 터널지보재의 역할과 암반상태에 대한 조사가 주된 조사항목이다.

남산 2호 터널의 경우 개수공사 시행전 공용중에 있었던 터널인 관계로 교통통제가 어렵고, 장비진입 및 작업을 위한 공간 확보가 곤란하여 터널 내에서의 지반조사를

실시하는 것은 불가능하였다. 이에 대한 보완조사로서 GPR탐사 자료분석 및 추가 GPR조사 등으로 암반의 이완영역을 확인하고자 하였으나 이 방법 역시 기술상의 한계로 인해 확실한 조사가 불가능 하였다. 따라서, 터널을 신설하는 경우와 동일한 방법으로 노선 구간에 대한 지질도분석, 지표지질조사, 전기비저항탐사, 시추조사 및 실내시험 등을 실시하여 지반 물성치를 결정하였으며, 특히 남산 1호 터널과 교차되는 부위에 가깝고 터널 중심부에 해당되는 시추공을 선정하여 BIPS, Televiewer, 수압파쇄시험을 실시하여 암반의 절리 상태 및 방향, 축압계수 등을 정량적으로 산정하여 설계에 적용하였다. 또한 개수터널의 특수성을 감안하여 나갱상태로 존치되어온 사갱에서 터널측벽응력시험을 실시하여 원지반을 굴착한 후 오랜기간에 경과된 후의 암반응력을 측정하였다.

#### 4.1.3 구조물 조사

정밀안전진단 시 구조물의 균열, 누수, 손상에 대한 세밀한 육안조사와 함께 천공 및 내시경 조사에 의한 콘크리트 라이닝의 두께 및 배면공동조사, 슈미트 해머 및 코어채취에 의한 강도조사, 초음파 탐사시험에 의한 콘크리트 품질평가, 철근탐지기에 의한 철근배근탐사 등 다양한 조사들이 수행되었다. 라이닝 두께 및 배면현황조사 등의 조사는 당시 시간적, 공간적인 조사의 한계성으로 인하여 전면적인 직접적 조사가 불가능하였으며 이에 따라 개수

표 2. 정밀안전진단 현황 및 결과

1차조사	결과요약	비고																																										
한국종합기술개발공사 1987	<ul style="list-style-type: none"> <li>콘크리트 벽면 미관불량에 따른 벽체 타일시공제안 → 조치 : 타일시공(89년)</li> <li>입·출구부 조도저하에 따른 입구부 조명등 보완제시</li> <li>소화전 설비노후화에 따른 소화전 설비 보완 제안 → 조치 : 소화전 설치</li> </ul>	남산 1,2,3호 터널 개수공사 실시 설계보고서 (1987.7)																																										
2차조사 동국대학교, 1993	<ul style="list-style-type: none"> <li>콘크리트 라이닝의 열화현황(전면적에 대한 비)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>-균열(7.7%), 박리파손(5.2%), 백화(10.7%), 콘크리트 품질(0.3%)</li> </ul> </li> <li>조사결론 재래식 터널공법에 의한시공, 품질관리 및 시공관리 부실로 콘크리트 내구성이 저하(열화진행)된 상태로 외부 하중에 의한 콘크리트 라이닝의 손상은 없으므로 구조적으로 문제는 없으나 콘크리트 열화의 진행은 내구성 및 강도에 심각한 영향을 미치므로 폭넓고 세심한 보수공사 및 주기적인 안전점검이 필요</li> </ul>	서울시 주요 구조물 안전진단 (1차) (Ⅳ) (1993.12)																																										
3차조사 시설안전기술공단 1996	<ul style="list-style-type: none"> <li>콘크리트 라이닝 건전도 평가결과                             <table border="1"> <tr> <td>공동 (183cm<sup>2</sup>)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>콘크리트 라이닝 아치부 배면공동 추정구간 ※터널전체 주면적의 7%(터널아치부 총길이의 50%)</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>균열 (144개소)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>보수를 요하는 구간 : 144개소로 전체(246개소)의 50%</li> <li>-E등급(0.7mm이상) : 33개소</li> <li>-D등급(0.3~0.7mm) : 111개소</li> <li>※20m 단위로 우측벽, 좌측벽, 아치부 분할</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>누수 (124개소)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>보수를 요하는 구간 : 124개소로 전체(246개소)의 50%</li> <li>-E등급(균열사이로 물이 계속 떨어지는 상태) : 2개소</li> <li>-D등급(균열사이로 누수가 많은 상태) : 17개소</li> <li>-C등급(우기시 누수예상 부위) : 105개소</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>파손 (18개소)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>보수를 요하는 구간 : 18개소로 전체(246개소)의 7%</li> <li>-E등급(즉시 보수를 요하는 경우) : 6개소</li> <li>-D등급(파손 면적이 10×10~30×30cm 미만) : 12개소</li> <li>※파손 : 박리, 박락, 철근노출, 골재노출 등</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>두께 (90개소, 588m)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>콘크리트 라이닝 두께 30cm이하 구간</li> <table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>개소</th> <th>라이닝두께(cm)</th> <th>연장(m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>측벽 좌측부</td> <td>19</td> <td>11~13</td> <td>122</td> </tr> <tr> <td>아치 좌측부</td> <td>13</td> <td>10~30</td> <td>89</td> </tr> <tr> <td>천단부</td> <td>28</td> <td>8~30</td> <td>175</td> </tr> <tr> <td>아치 우측부</td> <td>20</td> <td>11~30</td> <td>135</td> </tr> <tr> <td>측벽 우측부</td> <td>2</td> <td>18~19</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>횡단탐사</td> <td>8</td> <td>8~30</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>계</td> <td>90</td> <td></td> <td>588</td> </tr> </tbody> </table> </ul> </td> </tr> </table></li></ul>	공동 (183cm <sup>2</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>콘크리트 라이닝 아치부 배면공동 추정구간 ※터널전체 주면적의 7%(터널아치부 총길이의 50%)</li> </ul>	균열 (144개소)	<ul style="list-style-type: none"> <li>보수를 요하는 구간 : 144개소로 전체(246개소)의 50%</li> <li>-E등급(0.7mm이상) : 33개소</li> <li>-D등급(0.3~0.7mm) : 111개소</li> <li>※20m 단위로 우측벽, 좌측벽, 아치부 분할</li> </ul>	누수 (124개소)	<ul style="list-style-type: none"> <li>보수를 요하는 구간 : 124개소로 전체(246개소)의 50%</li> <li>-E등급(균열사이로 물이 계속 떨어지는 상태) : 2개소</li> <li>-D등급(균열사이로 누수가 많은 상태) : 17개소</li> <li>-C등급(우기시 누수예상 부위) : 105개소</li> </ul>	파손 (18개소)	<ul style="list-style-type: none"> <li>보수를 요하는 구간 : 18개소로 전체(246개소)의 7%</li> <li>-E등급(즉시 보수를 요하는 경우) : 6개소</li> <li>-D등급(파손 면적이 10×10~30×30cm 미만) : 12개소</li> <li>※파손 : 박리, 박락, 철근노출, 골재노출 등</li> </ul>	두께 (90개소, 588m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>콘크리트 라이닝 두께 30cm이하 구간</li> <table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>개소</th> <th>라이닝두께(cm)</th> <th>연장(m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>측벽 좌측부</td> <td>19</td> <td>11~13</td> <td>122</td> </tr> <tr> <td>아치 좌측부</td> <td>13</td> <td>10~30</td> <td>89</td> </tr> <tr> <td>천단부</td> <td>28</td> <td>8~30</td> <td>175</td> </tr> <tr> <td>아치 우측부</td> <td>20</td> <td>11~30</td> <td>135</td> </tr> <tr> <td>측벽 우측부</td> <td>2</td> <td>18~19</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>횡단탐사</td> <td>8</td> <td>8~30</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>계</td> <td>90</td> <td></td> <td>588</td> </tr> </tbody> </table> </ul>	구분	개소	라이닝두께(cm)	연장(m)	측벽 좌측부	19	11~13	122	아치 좌측부	13	10~30	89	천단부	28	8~30	175	아치 우측부	20	11~30	135	측벽 우측부	2	18~19	25	횡단탐사	8	8~30	42	계	90		588	남산 2호 터널 정밀 안전진단 보고서 (1996. 11)
공동 (183cm <sup>2</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>콘크리트 라이닝 아치부 배면공동 추정구간 ※터널전체 주면적의 7%(터널아치부 총길이의 50%)</li> </ul>																																											
균열 (144개소)	<ul style="list-style-type: none"> <li>보수를 요하는 구간 : 144개소로 전체(246개소)의 50%</li> <li>-E등급(0.7mm이상) : 33개소</li> <li>-D등급(0.3~0.7mm) : 111개소</li> <li>※20m 단위로 우측벽, 좌측벽, 아치부 분할</li> </ul>																																											
누수 (124개소)	<ul style="list-style-type: none"> <li>보수를 요하는 구간 : 124개소로 전체(246개소)의 50%</li> <li>-E등급(균열사이로 물이 계속 떨어지는 상태) : 2개소</li> <li>-D등급(균열사이로 누수가 많은 상태) : 17개소</li> <li>-C등급(우기시 누수예상 부위) : 105개소</li> </ul>																																											
파손 (18개소)	<ul style="list-style-type: none"> <li>보수를 요하는 구간 : 18개소로 전체(246개소)의 7%</li> <li>-E등급(즉시 보수를 요하는 경우) : 6개소</li> <li>-D등급(파손 면적이 10×10~30×30cm 미만) : 12개소</li> <li>※파손 : 박리, 박락, 철근노출, 골재노출 등</li> </ul>																																											
두께 (90개소, 588m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>콘크리트 라이닝 두께 30cm이하 구간</li> <table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>개소</th> <th>라이닝두께(cm)</th> <th>연장(m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>측벽 좌측부</td> <td>19</td> <td>11~13</td> <td>122</td> </tr> <tr> <td>아치 좌측부</td> <td>13</td> <td>10~30</td> <td>89</td> </tr> <tr> <td>천단부</td> <td>28</td> <td>8~30</td> <td>175</td> </tr> <tr> <td>아치 우측부</td> <td>20</td> <td>11~30</td> <td>135</td> </tr> <tr> <td>측벽 우측부</td> <td>2</td> <td>18~19</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>횡단탐사</td> <td>8</td> <td>8~30</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>계</td> <td>90</td> <td></td> <td>588</td> </tr> </tbody> </table> </ul>	구분	개소	라이닝두께(cm)	연장(m)	측벽 좌측부	19	11~13	122	아치 좌측부	13	10~30	89	천단부	28	8~30	175	아치 우측부	20	11~30	135	측벽 우측부	2	18~19	25	횡단탐사	8	8~30	42	계	90		588											
구분	개소	라이닝두께(cm)	연장(m)																																									
측벽 좌측부	19	11~13	122																																									
아치 좌측부	13	10~30	89																																									
천단부	28	8~30	175																																									
아치 우측부	20	11~30	135																																									
측벽 우측부	2	18~19	25																																									
횡단탐사	8	8~30	42																																									
계	90		588																																									

→ 조치 : 전면 개수 결정

설계시에는 본 터널의 가장 큰 위험요소라 할 수 있는 1호 터널 교차부 및 개착터널 부위를 집중적으로 조사하였다.

## 4.2 단면설계

### 4.2.1 터널단면 계획

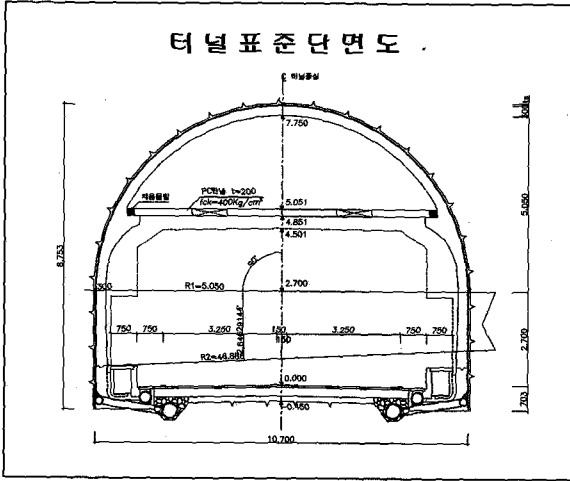


그림 4. 터널 표준단면도

터널단면은 그크기에 따라 공사비에 미치는 영향이 가장 크므로 터널의 기능에 따라 가장 적절하고 경제적인 단면을 결정하여야 한다. 또한 터널의 내공단면은 도로 종별에 따른 도로폭원 및 건축한계를 만족시킬 뿐만 아니라 환기, 방재, 조명, 내장, 배수 등 내부시설의 설치 공간을 확보하여야 하난. 당 공사의 경우 기존단면에서 추가

확폭을 최소화하는 방향으로 단면계획이 이루어 졌으며, 과거 재래식 공법(ASSM)으로 시공된 점을 감안 여굴을 반영한 최적단면이 적용되었다.

그림 4에서와 같이 '도로의 구조, 시설기준에 관한 규정'에 따라 차로폭은 6.5m로 결정하였으며, 대면교통이므로 안전성을 고려하여 중앙분리대를 0.3m 확보한 후 도로표지병 설치를 적용하였다. 측방 여유폭은 75cm, 차량통과높이 4.5m를 확보하고 추가로 터널유지, 보수 점검시 작업원의 안전성 확보를 위한 검사원 통로를 양측에 설치하였다. 또한, 터널내 유지관리시설, 방재시설의 배선, 배관을 공동 수용할 수 있는 공간확보를 위해 터널 양측에 터널내 공동구를 설치하여 방재시설의 파손방지 및 유지관리상 편의를 도모하였다.

#### 4.2.2 종단선형

터널 개수공사시 기존선형을 대폭적으로 변경하는 것은 아주 특수한 경우에 속한다. 대부분의 개수공사는 선형은 그대로 두고 폭원을 확장하거나 문제되는 구조물 부분만 국부적으로 개수하는 수준이다. 선형의 대폭적인 조

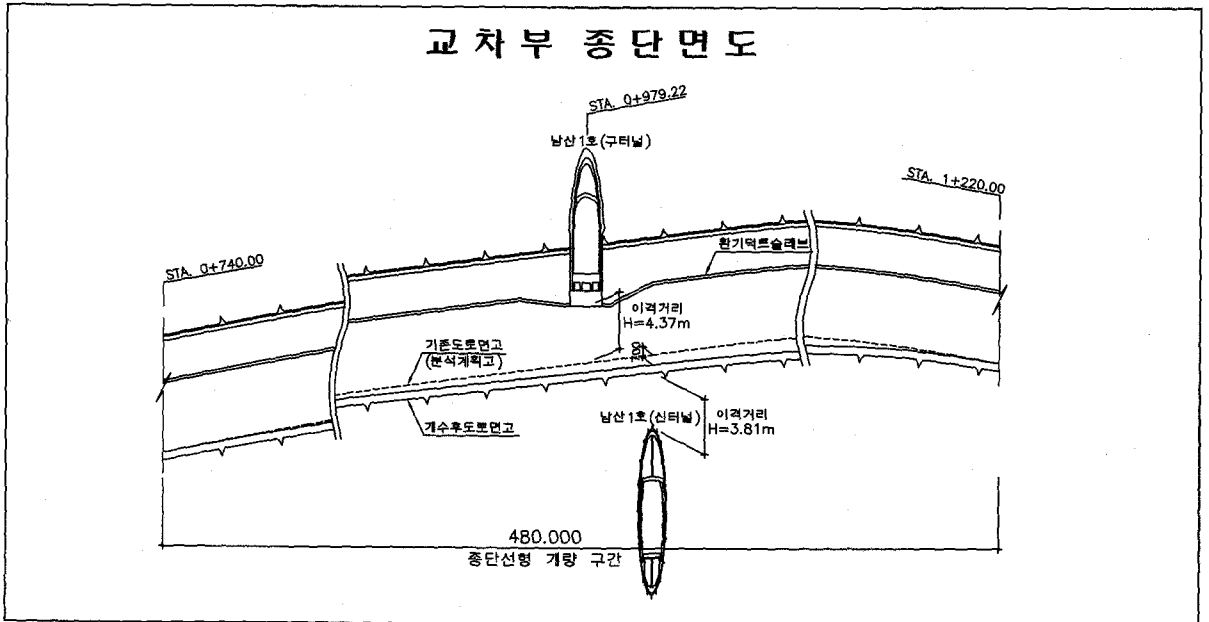


그림 5. 교차부 종단면도

정이 필요하다면 시·중점의 접속조건은 물론이고 시공상의 안전성 및 경제성을 분석하여 그 효과를 검토하여야 한다.

남산 2호 터널의 경우 시·중점부가 고정되어 있고 평면 및 종단선형도 설계속도에 적합한 도로의 기하구조 기준을 만족하고 있기 때문에 근본적인 선형의 개량은 필요하지 않지만 그림 5와 같이 남산 1호 구터널 하부 슬래브와 남산 2호 터널 도로면과의 높이차이가 측량결과 4.37m로 건축한계 4.5m에 미치지 못하고 있으며, 현장조사 결과 슬래브 면이 굽힌 흔적이 있었다.

이에 따라 남산 1호 구터널과 교차하는 남산 2호 터널의 약 480m 구간을 하부굴착(최대 굴착 깊이 약 110cm)을 실시하여 종단선형을 개량하였다. 이로 인해 남산 2호 터널 하부에 위치하는 남산 1호 터널의 경우 개수공사전 이격거리가 4.7m였으나 종단선형 개량후 3.8m로 이격거리가 가깝게 되었다. 하부 바닥굴착은 굴착깊이 50cm 이하 구간은 브레카에 의한 굴착공법을 적용하고, 남산 1호 신터널 구간은 진동을 최소화 하기 위해 미진동 발파+브레카가 적용되었으나 현장여건상 적용성이 낮은 것으로 판단되어 약액의 경화에 따른 팽창력을 이용한 약액주입공법+브레카를 적용하여 남산 2호 터널의 바닥굴착에 따른 남산 1호 신터널의 영향을 최소화하였다. 또한, 남산1호터널 구간을 제외한 50cm 이상의 바닥굴착이 적용된 구간은 일반발파+브레카를 적용하여 굴착작업을 수행하였다.

### 4.3 터널 해체 계획 및 적용

#### 4.3.1 터널 해체 공법의 검토

남산 2호 터널은 양호한 경암층에 있으나 재래식 터널 공법(ASSM)에 의하여 건설되어 콘크리트 라이닝 배면에 불규칙하게 공극이 형성되어 있는 상태로 약 30년이 경과되어 노출된 암반면이 약화되어 있을 것으로 추정하여 기존 굴착면의 안정을 저해하지 않고 콘크리트 라이닝을 철거할 수 있는 공법을 비교 검토하여 공사중의 안전성, 시

표 3. 설계시 고려된 콘크리트 라이닝 철거공법 분류

철거방식에 의한 분류	철거장비에 의한 분류
콘크리트 할렬에 의한 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HRB 공법 (Hydraulic Rock Cracking Bigger)</li> <li>• HRS 공법 (Hydraulic Rock Splitters)</li> </ul>
구조물 충격에 의한 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 압쇄기(Crusher)장비 이용법</li> <li>• 브레카(Breaker)장비 이용법</li> <li>• 대형로드헤더 공법</li> <li>• Water-Jet 공법</li> </ul>
기계식 절단에 의한 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wall Saw 공법</li> <li>• Wire Saw 공법</li> <li>• Flat Saw 공법</li> </ul>
발파에 의한 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일반발파 공법</li> <li>• 제어발파(Smooth Blasting) 공법</li> </ul>

공성, 경제성 측면에서 최적의 방안을 수립하였다.

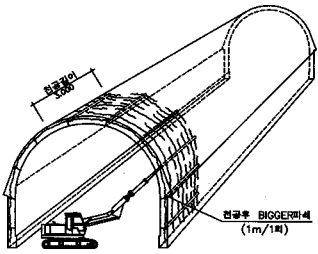
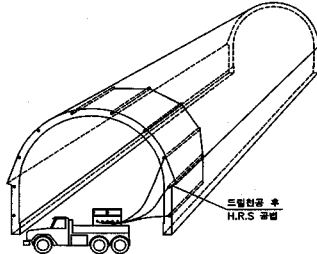
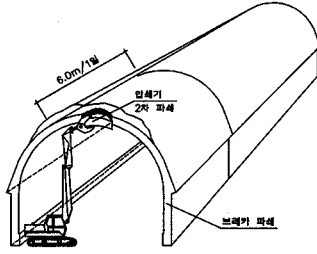
공법 선정시 고려사항으로는 기굴착 암반면에 대한 충격 최소화, 시공의 용이성 및 경제성, 작업의 안전성, 신속한 후속작업의 용이성, 환경피해의 최소화 할 수 있는 방안을 선정하였다.

다음은 기존 터널조사 자료 등에서 제시한 철거 대상 라이닝 두께 조사 결과와 공사를 수행하면서 기록된 자료를 비교해 보았다. 실제 라이닝 두께와 조사량의 차이는 여러 가지로 분석될 수 있으나 크게 조사의 한계성에서 오는 오차로 판단된다.

- ① 정밀안전진단, 기본설계시 조사·분석한 현황
  - 준공후 28년이 경과된 구조물로서 노출된 굴착 암반면이 약화됨
  - 콘크리트라이닝 두께 : 5~162cm로 불규칙 (설계 두께 50cm)
- ② 라이닝 철거 후 현장 조사 자료
  - 암반의 풍화도는 심하지 않았으나 당시 시공시 많은 여굴이 발생되어 이를 콘크리트가 아닌 발파석 및 현장 공사 폐기물 등으로 배면 여굴 등을 뒷채움 하였음
  - 콘크리트라이닝 두께 : 10~240cm로 불규칙 (평균 두께: 80cm이상)



표 4. 콘크리트 라이닝 철거공법 검토

구분	HRB 공법	HRS 공법	브레카+압쇄기 이용법	
개요도				
공법 개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 크롤러드릴 이용 L=3.0m천공</li> <li>• Bigger장비 이용 L=1.0m확공 (1차파쇄)</li> <li>• 모양과 콘크리트면 미탈락 부분 브레카 파쇄</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 크롤러드릴 이용 L=0.5m천공</li> <li>• HRS장비 이용 L=0.5m확공 (1차 파쇄)</li> <li>• 모양과 콘크리트면 미탈락 부분 브레카 파쇄</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 좌·우측부벽 브레카 파쇄 (L=6.0m/1일)</li> <li>• 압쇄기 이용 라이닝철거</li> <li>• 모양과 콘크리트면 미탈락 부분 브레카 파쇄</li> </ul>	
특징	장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 무소음, 무진동 공법</li> <li>• 철거작업시 기계화 연속작업으로 라이닝콘크리트 낙반에 의한 안전 사고 예방</li> <li>• 다소 경제적</li> <li>• 연속작업으로 공기단축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 무소음, 무진동 공법</li> <li>• 다소 경제적</li> <li>• 협소한 작업공간에 유리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 천정부에 공동이 균일할 때 유리 (탈락위치가 동일시 유리)</li> <li>• 다소 경제적</li> </ul>
	단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 장비가 고가이므로 부분구간 적용 시 다소 불리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 철거작업시 라이닝 아치부 파쇄시 낙반에 의한 안전사고 우려</li> <li>• 기계화 작업이 아니므로 공기연장</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 철거작업시 라이닝 아치부 파쇄시 낙반에 의한 안전사고 우려</li> <li>• 이론적인 방법과 실제상황의 차이로 인한 대형사고 우려</li> </ul>

### 4.3.2 터널 라이닝 해체 공법 적용

남산2호터널 라이닝 철거 공사시 가장 중요한 부분인 기존 모양에 영향을 최소화 시킬 수 있고 낙반 사고의 위험성을 예방 할 수 있는 공법 중 무소음·무진동의 기계화 장비에 의한 HRB 공법을 적용하였고, 교차부의 측벽 콘크리트 라이닝처럼 작업 환경이 협소한 곳은 부분적으로 인력에 의해 해체장비 설치가 가능한 HRS 공법을 적용하였다. 또한, 터널의 공동 발생구간은 경제성을 고형 압쇄기+브레카를 이용한 해체공법을 적용하였다.

## 4.4 터널 안정해석 및 지보패턴 적용

### 4.4.1 터널의 안정해석

터널안정해석은 조사결과를 근거로 얻어진 특성치를 바탕으로 지반조건을 단순화하여 현터널의 안정성 및 선정된 개수단면의 지보패턴에 대한 적정성과 굴착에 의한 주변구조물의 영향을 분석하는데 그 목적이 있다.

기존 콘크리트 라이닝 해체시 안정성 검토를 위해 기존 라이닝의 응력측정 자료를 이용한 역해석을 실시하여 하중분담율을 결정하였고 28년전 굴착된 터널지반의 거동과 편마암의 특성을 고려하여 시간 의존적인 Creep해석과 이방성 해석을 실시하여 안전성을 검토하였다.

또한 1호 터널 교차부의 안정성검토를 위하여 3차원해석을 실시하였으며 이외에 불연속체해석, Key Block검토 등을 실시하였다. 또한 콘크리트 라이닝은 장래에 발생할지 모르는 여러 하중조건을 검토하여 구조해석에 적용하였으며, 이에 따라 소요철근량을 보강토록 하였다. 표 6에

표 5. 암반 상태에 따른 해체공법 적용

구분	설계적용
HRB공법(1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>정밀안전진단 결과를 반영하여 라이닝 천장부 공동발생 구간을 제외한 구간중 라이닝 배면의 암반상태가 다소 불량한 구간 설정</li> <li>이 구간에 무소음·무진동 공법인 Bigger공법을 이용 1차파쇄(천공 및 확공간격 CTC 1.0m)를 실시하여 철거(단, 콘크리트와 모암사이가 밀착되어 파쇄되지 않는 부분은 브레카 장비 부분적으로 사용)</li> <li>암반상태가 다소 불량하여 Bigger 장비에 의한 파쇄를 실시하므로 기존 모암에 손상우려 없음</li> </ul>
HRB공법(2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>정밀안전진단 결과를 반영하여 라이닝 천장부 공동발생 구간을 제외한 구간중 라이닝 배면의 암반상태가 매우 양호한 구간 설정</li> <li>이 구간에 무소음·무진동 공법인 Bigger공법을 이용 1차 파쇄(천공 및 확공간격 CTC 2.0m)를 실시</li> <li>균열면을 따라 브레카를 이용 2차 파쇄를 실시</li> <li>1차파쇄(Bigger)후 2차 파쇄(Breaker)를 실시하므로 기존 모암에 손상 우려 적음</li> </ul>
압쇄기+브레카공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>정밀안전진단 결과 라이닝 천장부 공동발생 구간 설정</li> <li>라이닝 천장부(공동발생부)는 작업성이 좋고 미진동·미소음 공법인 압쇄기공법 적용</li> <li>라이닝 측벽부는 공동 미발생부로 압쇄기공법이 매우 어려우므로 시공성, 경제성을 고려 브레카 장비에 의한 공법 수립</li> </ul>
HRS공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>터널 교차부 측벽 콘크리트 라이닝 철거 및 재시공시 교차 터널의 안정성 확보를 위하여 가시설 설치</li> <li>이로 인해, 작업공간이 협소하므로 인력에 의한 철거공법 필요</li> <li>또한 교차터널의 안정성 확보에 주안점</li> <li>작업공간 협소, 교차터널의 안정성 확보 차원에서 인력에 의한 무소음·무진동 공법인 HRS공법(천공 및 확공간격 CTC 1.0m)적용</li> </ul>

표 6. 해석항목

해석항목	해석프로그램	선정사유 및 검토사항
역해석에 의한 하중분담을 결정	FLAC-2D	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존라이닝 응력측정 결과를 근거로 역해석 실시</li> <li>콘크리트 라이닝 설치 단계의 하중분담을 결정</li> </ul>
2차원 연속체 해석	FLAC-2D	<ul style="list-style-type: none"> <li>라이닝해체 및 비상주차대 확폭굴착시 안전성 검토</li> <li>대심도구간, 지형이나 지질이 취약한 구간</li> </ul>
2차원 불연속체 해석	UDEC	<ul style="list-style-type: none"> <li>단층대 및 절리군을 고려한 터널해석</li> </ul>
3차원 교차부 해석	FLAC-3D	<ul style="list-style-type: none"> <li>2차원 해석이 불가능한 교차부 응력집중 검토</li> </ul>
CREEP 해석	FLAC-2D	<ul style="list-style-type: none"> <li>터널준공후 28년 경과에 따른 거동해석</li> </ul>
편마암의 이방성 해석	FLAC-2D	<ul style="list-style-type: none"> <li>편마암 구간에 대해 이방성 해석 수행</li> </ul>
Key Block의 안전성 검토	UNWEDGE	<ul style="list-style-type: none"> <li>불연속면에 의한 압괴의 낙반가능성 검토 및 보강계획수립</li> </ul>
침투류해석	SEEP/W	<ul style="list-style-type: none"> <li>콘크리트 라이닝 작용수압 및 터널내 유출수량 산정</li> </ul>
2차원 라이닝 구조해석	SAP90	<ul style="list-style-type: none"> <li>적용하중을 조합하여 구조물의 단면력 및 소요철근량 산정</li> </ul>
3차원 라이닝 구조해석	GT-STRUDL	<ul style="list-style-type: none"> <li>교차부 라이닝의 단면력 및 소요철근량 산정</li> </ul>

는 개수공사를 위해 수행된 해석 항목을 정리하였다.

FLAC-2D 프로그램을 이용한 연속체 해석과 UDEC프로그램을 이용하여 불연속면의 영향을 고려한 해석수행 결과를 정리하면, 연속체 해석시 본선부의 경우 기존 콘크리트 라이닝 해체시 발생변위량은 약 1mm 이내로 발

생하는 것을 알 수 있으며 터널의 안정에 미치는 영향은 아주 미소할 것으로 판단하였다. 또한 불연속체 해석의 결과는 천단부 10mm, 내공변위 약20mm 내외가 발생하여 내공변위량이 상대적으로 큰 범위를 보이고 있으나 이는 불연속면의 영향으로 판단되며 터널의 안정에 미치는

표 7. 본선터널 기존 콘크리트 라이닝 해체시 발생변위

측점	해석프로그램	지보패턴	최대전단변위(mm)		최대내공변위(mm)		비고
			본선	사갱	본선	사갱	
본선 STA. 0+500	FLAC-2D	PMT-1	0.055	-	1.270		
본선 STA. 0+850	FLAC-2D	PMT-1	0.192	-	1.655		
본선 STA. 0+890	FLAC-2D	PMT-7	0.343	0.586	2.120	1.085	
본선 STA. 1+060	FLAC-2D	PMT-1	0.767	-	4.322		
본선 STA. 1+200	UDEC	PMT-1	10.890	-	13.100		
본선 STA. 1+280	FLAC-2D	비상주차대	3.690	-	9.054		확폭부
본선 STA. 1+600	FLAC-2D	PMT-3	0.323	-	1.041		

표 8. 표준 지보 패턴

구분	본선							1호터널교차부		비상 주차대	
	PMT-1	PMT-2	PMT-3	PMT-4	PMT-5	PMT-6	PMT-7	교차부	교차부 접속부		
지반조건	경암	보통암	연암	풍화암	갱구부	단층 파쇄대	사갱 접속부	경암	경암	경암	
RMR	100~81	80~61	60~41	40~0	-	-	-	-	-	-	
숫크리트 (mm)	1차	50 (SFRS)	50 (SFRS)	50 (SFRS)	50 (SFRS)	50 (SFRS)	50 (SFRS)	50 (SFRS)	50 (SFRS)	50 (SFRS)	
	2차	-	-	50 (SFRS)	50 (SFRS)	50 (SFRS)	50 (SFRS)	50 (SFRS)	50 (SFRS)	50 (SFRS)	
록볼트	길이(m)	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	
	개수(개)	-	8.5	14.5	14.5	14.5	18.5	14.5	6.0	14.5	
	간격 (m)	종	RAM	2.0	2.0	1.5	1.2	15	15	1.2	1.5
		횡	DOM	2.0	1.5	1.5	1.5	30	15	1.5	1.5
격자 격보	규격 (mm)	-	-	-	Type 50×20×30	Type 50×20×30	Type 50×20×30	Type 50×20×30	-	Type 50×20×30	Type 50×20×30
	간격(m)	-	-	-	1.5	1.2	1.0	1.5	-	1.5	1.5
콘크리트라이닝 (cm)	30 (철근)	30 (철근)	30 (철근)	30 (철근)	30 (철근)	30 (철근)	30 (철근)	30 (철근)	50 (철근)	30 (철근)	40 (철근)
보조공법	-	-	-	콘크리트 라이닝 해체전 필요시 Forepoling	콘크리트 라이닝 해체전 필요시 Forepoling pipe roof	콘크리트 라이닝 해체전 필요시 Forepoling	-	-	-	-	
비고	-	-	-	-	-	-	단층의 방향성에 따라 록볼트 설치각도 조절	-	-	-	

영향은 미미할 것으로 판단하였다. 판정된 변위로 볼 때 터널의 안정에는 문제가 없을 것으로 판단하였다.

#### 4.4.2 지보패턴 적용

지반조사로부터 획득한 정보를 분석한 결과 원지반 자립상태를 확인하였으며, 지반조사의 한계성, 낙반사고 등을 감안한 최적의 지보패턴 설계를 위해 암질별로 패턴을 세분화하고 수치해석을 통하여 지보패턴의 적정성을 검토하였다. 암반분류는 시추조사, 지표지질조사, 터널내 노출암반조사, BIPS탐사, 전기비저항탐사, Televiewer 탐사 당의 조사결과를 바탕으로 RMR방법을 기본으로 하여 암반의 등급을 평가하였으나, 시공후 28년이 경과되어 배면공동 및 단층대나 지하수 유출구간은 풍화 및 이완가능성이 있기 때문에 시공시 노출암반조사후 조사결과에 의해 지보패턴을 적용하였다.

주 지보재료는 강섬유보강 슛크리트, 격자지보, 주입재 흘러내림 방지용캡을 이용한 록볼트를 사용하였으며, 2차 지보재료 전구간 철근 콘크리트 라이닝 적용하였다. 보조공법은 기존라이닝 해체시 이완된 지반이 붕괴될 우려가 있거나 과다 용출수 구간은 해체전에 Forepoling, Pipe-Roof, Pre-Grouting등을 계획하였으나, 갱구부 보강을 위해 적용되었던 Pipe-Roof이외의 보조공법은 노출암반조사 결과적용대상지반이 나타나지 않아 적용하지 못하였다. 표 8에는 개수공사 현장에서 적용된 표준 지보 패턴을 나타내고 있다.

### 4.5 배면 공동 채움

표 9. 각종 조사현황 비교

구분	정밀안전진단 (1996)	기본설계 (1998)	현장실측 (1999~2000)
조사내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 탐사방법 : 타격음, Hole조사, 지반탐사(GPR)</li> <li>• 터전체 주면적의 7%(터널아치부 총길이의 50%)</li> <li>• 최대 공동 깊이 : 113cm</li> <li>• 공동채움물량 : 약1,830m<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 탐사방법 : 타격음, Hole조사, 지반탐사(GPR)</li> <li>• 터널 총길이의 약 61.5%</li> <li>• 최대 공동 깊이 : 34cm</li> <li>• 공동채움물량 : 1,470m<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 탐사방법 : 측량에 의한 직접조사 (라이닝 철거후)</li> <li>• 터널 총길이의 약 85%</li> <li>• 최대 공동 깊이 : 440cm</li> <li>• 공동채움물량 : 17.760m<sup>2</sup></li> </ul>

#### 4.5.1 터널 배면공동 현황

남산 2호 터널의 경우 재래식공법(ASMM)으로 굴착 시 공하여 당시 발파기술이나 짧은 공기(약2년)를 감안 할 때 여굴이 많아 단순 보수공사의 경우 배면 주입에 의한 공동채움이 적합하나, 기존 콘크리트 라이닝 철거후 개수공사를 수행함에 있어서는 별도의 채움 공법이 필요시 된다. 채움공법 선정시 고려되었던 사항은 여굴위치에 따라 측벽부 및 천단부와 구별하여 각각 별도의 재료선정이나 공법을 적용하였고 특히 천단부 공동의 경우 채움재가 탈락하여 콘크리트 라이닝에 하중으로 작용하여 구조적 안정성을 저해할 수 있으므로 재료의 선정에 있어 경량기포 콘크리트(단위중량 : 0.4ton/m<sup>3</sup>)를 선정하여 시공하였다. 측벽공동채움의 경우 콘크리트 라이닝 시공시 레미콘에 의한 콘크리트 타설로 일괄 시공하였다.

공동현황의 조사를 위해 정밀안전진단 및 기본설계시에는 물리탐사 방법의 하나인 GPR(Ground Penetrating Radar)방법을 응용 적용하였거나, 라이닝 기존 구멍(hole) 조사자료를 이용하여 각각의 조사결과와 상관성을 분석하여 상관관계가 유사하다는 결론을 내려놓았다.

그러나 정밀 안전진단 및 기본설계시 조사된 공동현황과 라이닝 철거 작업 완료 후 현장실측에 의한 공동 분포나 채움물량은 상당한 차이를 보이고 있다. 이는 라이닝이 존치하고 있는 조사당시 기술적, 공간적, 시간적 조사의 한계성으로 과다굴착 사실 등을 객관적인 자료와 정확한 물량의 산출이 가능한 조사방법과 장비가 현실적으로 존재하지 않는 다른 것을 의미하며, 향후 유사공정의 수행시 단순한 탐사자료에 의한 물량 산출 등은 현실과 상당한 오차가 있을 수 있음을 감안하며 대책을 마련함이

표 10. 천단부 공동채움 방법

구분	CASE I	CASE I	CASE II
공동깊이	5~20cm	20~50cm	50cm 이상
시공 개념도			
시공순서	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sealing S/C(T=5cm)</li> <li>• 채움S/C(T=0~15cm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sealing S/C(T=5~30)</li> <li>• 다발로된 Wire Mesh 거처 및 채움 S/C(T=0~20cm)설치</li> <li>• 시멘트 모르타르 주입</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sealing S/C(T=5cm)</li> <li>• 거푸집 및 주입관 설치</li> <li>• 거푸집은 R/B로 양반에 지지</li> <li>• 경량기포 콘크리트 주입</li> </ul>
비고	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공동은 천단부에 위치</li> <li>• 구조물 조사 현황에서 파악한 굴착면이 요구되는 단면 치수보다 초과하는 부분</li> </ul>		

바람직 할 것으로 판단된다. 당 공사에서 설계시 추정된 공동물량 현황과 라이닝 철거 후 실측에 의한 물량 비교는 다음과 같다.

#### 4.5.2 터널 배면공동 채움 공법 적용

공동채움 방법을 계획하기 위하여 조사에서 수집된 자료를 분석하여 기존 굴착선을 확인 하였으며, 계획된 터널 단면을 기준으로 채움구간을 선정하여 공동부분의 채움공법을 공동깊이에 따라 각각 적용하였다.

### 4.6 터널 라이닝 설계 및 시공

#### 4.6.1 콘크리트 라이닝

라이닝의 일반적인 역할은 장기적인 측면에서의 1차 지보재의 성능 저하 및 이로 인한 콘크리트 라이닝 자체에 작용하는 하중을 지지하여 장기적인 터널의 구조적 안정성을 확보해 주는 역할적 기능과 터널 구조물로서의 기능 및 미관유지, 터널내 시설물의 보호, 방수막지지 및 보호라고 할 수 있다.

일반적으로 NATM 개념에 의한 터널설계에서는 자중 응력은 1차 지보재인 1차 지보재인 슛크리트, 강지보공, 록볼트 등에 의해 응력이 재배치되어 터널공동이 자립한

다는 개념으로 배수형 터널의 콘크리트 라이닝은 일반적으로 외력이 작용하지 않는다고 간주하지만, 당 공사에서는 콘크리트 라이닝은 일반적으로 외력이 작용하지 않는다고 간주하지만, 당 공사에서는 콘크리트 라이닝 설치후 지질여건, 방·배수형식, 터널심도, 터널규모 및 형상 등에 따른 1차 지보재의 장기적인 기능저하에서 오는 내구성 저하 및 기타 불확정 요인 등을 감안하여 작용하중을 선정하여 적용하였다.

적용된 설계하중은 콘크리트라이닝 자중, 양반의 이완 하중, 배수층의 기능저하에 따른 잔류수압, 개착터널의 경우 온도하중, 콘크리트 양생시 건조수축하중, 기존 배면공동 채움재의 탈락을 가정한 채움하중 및 환기덕트 슬래브 하중을 고려하였다.

시공시에는 라이닝의 품질확보를 위해 신축이음을 계절적 요인에 의해 온도변화의 영향을 많이 받는 갱구부는 처음 3span은 매 span마다, 그 다음은 2span후에 그리

표 11. 단면에 따른 라이닝 두께 및 콘크리트 설계강도

구분	설계두께(cm)	설계강도(kgf/cm <sup>2</sup> )
본선터널	30	240
비상주차대	40	240
1호터널교차부 측벽	50	240
사갱	30	240

고 본선 일반부는 3span마다 신축이음을 설치하였다. 거푸집 탈형은  $f_{ck} = 30 \text{ kgf/cm}^2$  이상 발휘 후 실시하였고, 콘크리트 타설시 재료분리가 발생하지 않도록 강재거푸집 측벽부에도 주입구를 설치하였으며, 콘크리트 양생용 자동살수장치에 의한 습윤양생을 실시하였다. 표 11에는 개수공사 현장에서 적용된 라이닝 두께 및 설계강도이다.

#### 4.6.2 환기 덕트 슬래브 적용

남산2호터널의 환기방식은 급기형 반회류식으로 환기 덕트 슬래브의 적용이 필요시 되었다. 기존의 환기 덕트 슬래브는 강재 거푸집을 이용한 현장타설 콘크리트로 시공되는 것이 일반적이라 할 수 있다. 그러나 현장타설 콘크리트는 공기, 시공성, 경제성 측면에서 불리하여 대체 공법의 필요성이 대두되었다. 이 설계시 신기술 도입 방안을 모색하던 차에 그림 6과 같이 PC판넬에 의한 조립 시공 방안을 검토하여 적용하였다.

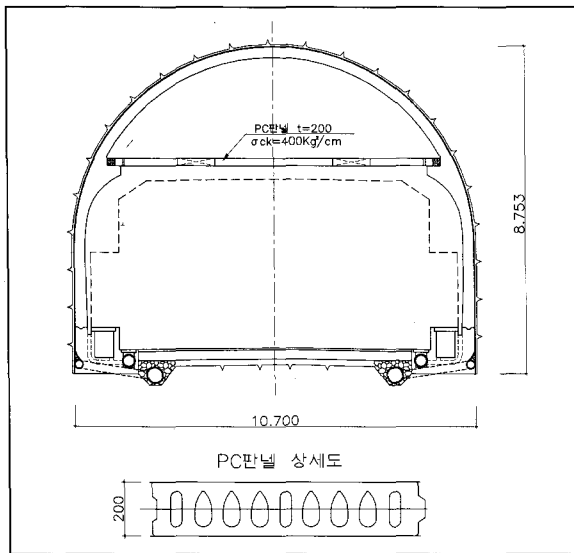


그림 6. 환기덕트 슬래브(PC판넬)

PC판넬은 공장 제작에 따른 품질의 균일성이 확보되어, 공정관리 및 품질관리에 유리한 장점이 있는 반면, 단면변화가 요구되어지는 곳에 별도의 제작이 필요하고 또한 국내시공실적이 전무하여 설치시 시공적인 부담을 안

고 있는 단점이 있다. 그러나 설치시공시 드러나는 문제점 등을 해결한다면 공기단축이라는 최대 장점으로 향후 건설되는 터널에 적용가치가 높을 것으로 판단된다.

### 4.7 남산 1.2호 교차부 구간 설계 및 시공

#### 4.7.1 현황 및 개요

남산 2호터널 시점(STA. 0+221.942)으로부터 757m, 785m 지점에서 각각 남산 1호터널 구터널(STA. 0+979.222)과 신터널(STA. 1+006.909)이 횡단하고 있었다. 구터널은 1970년 8월 15일에 재래식 굴착공법으로 준공되었고, 신터널은 1994년 1월 8일에 TBM공법으로 준공되었다. 구터널은 2호 터널의 환기덕트를 횡단하고 있고, 신터널은 2호 터널의 4.507m 하부로 횡단하고 있으며 슛크리트 15cm와 30cm의 콘크리트 라이닝으로 지보가 구성되었다.

특히 본구간은 터널이 근거리에서 교차한다는 구조적 특징 외에 남산 1호 터널을 지지하고 있을 것으로 판단되는 남산 2호 터널의 측벽 라이닝의 철거, 신설 및 종단선형 조정에 따른 기존 2호 터널 바닥의 암굴착이 계획되어 있다. 또한 2호 터널 개수공사 중 1호 신·구 터널의 기능(차량통행)을 유지시켜야 하는 제한적 상황에서 1호 신·구터널의 안정성, 2호터널 개수 공사시의 시공성 및 안전성이라는 중점고려사항을 설정하여 보수적인 계획을 수립하였다.

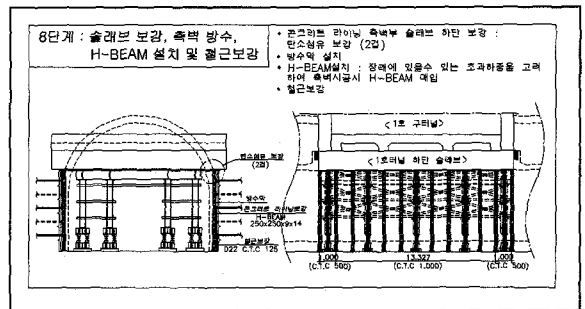
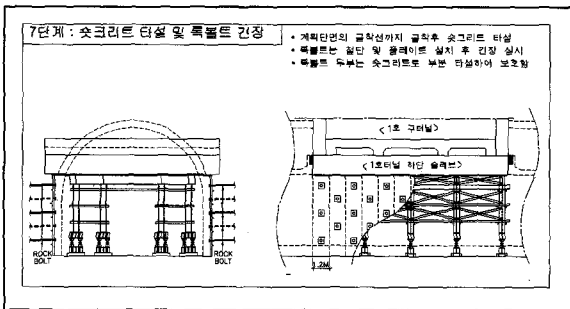
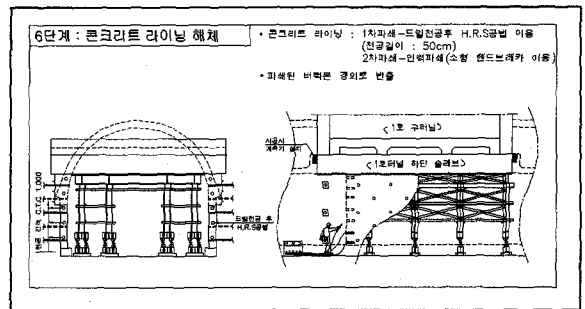
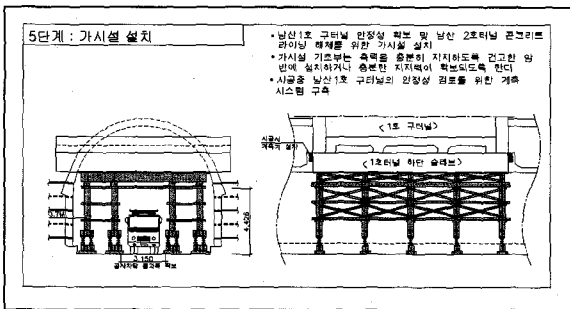
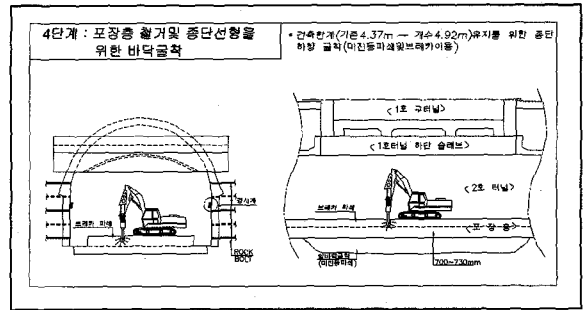
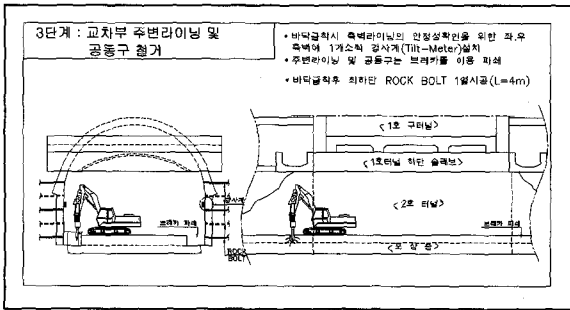
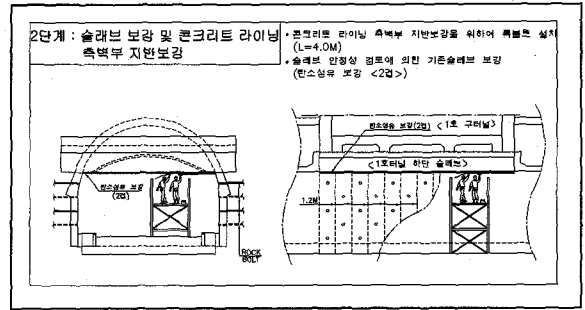
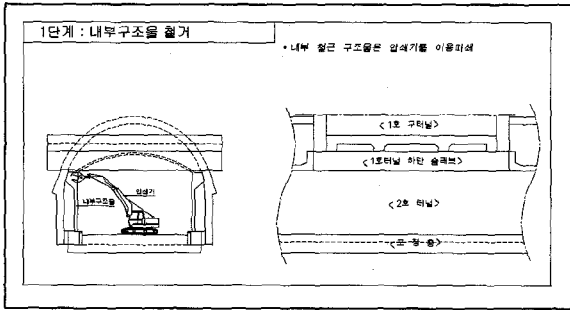
설계시 검토한 사항은 기존 1호 터널 하단슬래브의 안정성 검토, 2호 터널 라이닝 신설단면의 검토, 기존 2호 터널 측벽부 라이닝 철거에 따른 1호 구터널 안정성 확보를 위한 가시설 계획, 1호 터널 차량통과에 따른 동적거동 해석 등을 실시하였다.

분석결과 기존터널 하단 슬래브는 2등급교(D8-18)로 설계되었으며, 2호 터널 개수공사시(측벽 라이닝의 신설) 교차부의 안정성 확보를 위하여 1등급교(D8-24) 및 차량 운행에 따른 충격영향을 고려하여 1호 터널 하단 슬래브에 탄소섬유로 단면보강을 실시하였다. 또한, 2호 터널

측벽 라이닝 계획시 철근 콘크리트 구조만으로도 안전하  
지만 예상치 못한 하중에 의해 발생하는 응력에 대비하여  
라이닝 내부에 철골(H-Beam : 250×250×9×14)을 추  
가로 보강하여 시공하였다.

### 4.7.2 가시설 및 라이닝 시공

남산 2호 터널과 1호 구터널 교차부의 시공은 그림 7  
에 나타난 순서에 따라 시행하였다.



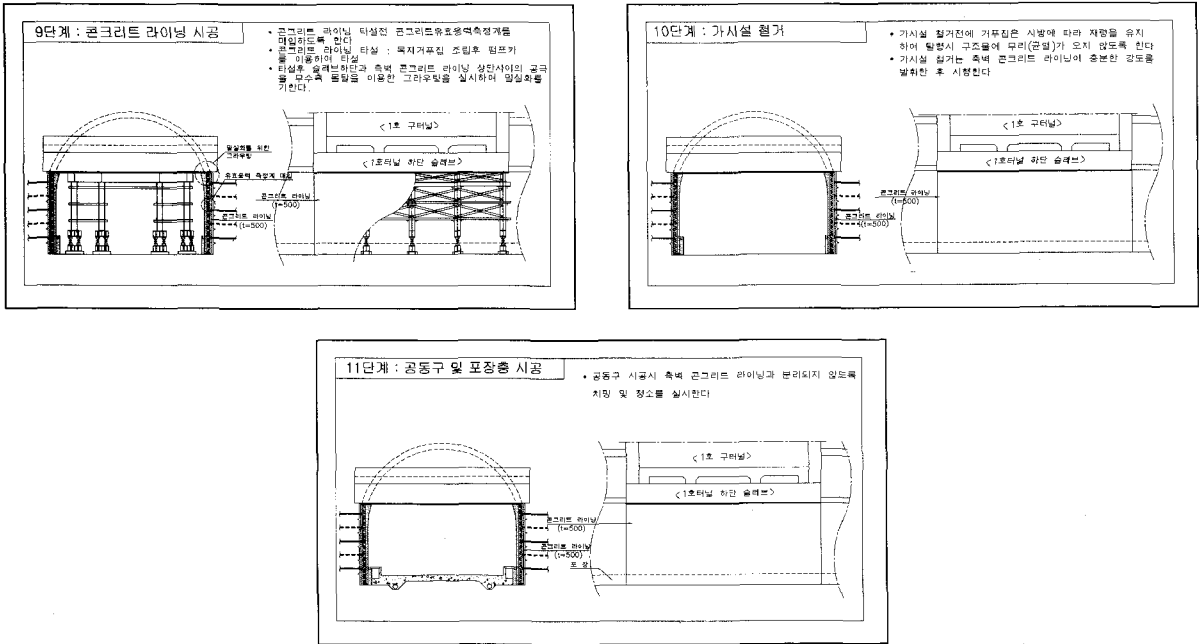


그림 7. 교차부 시공순서도

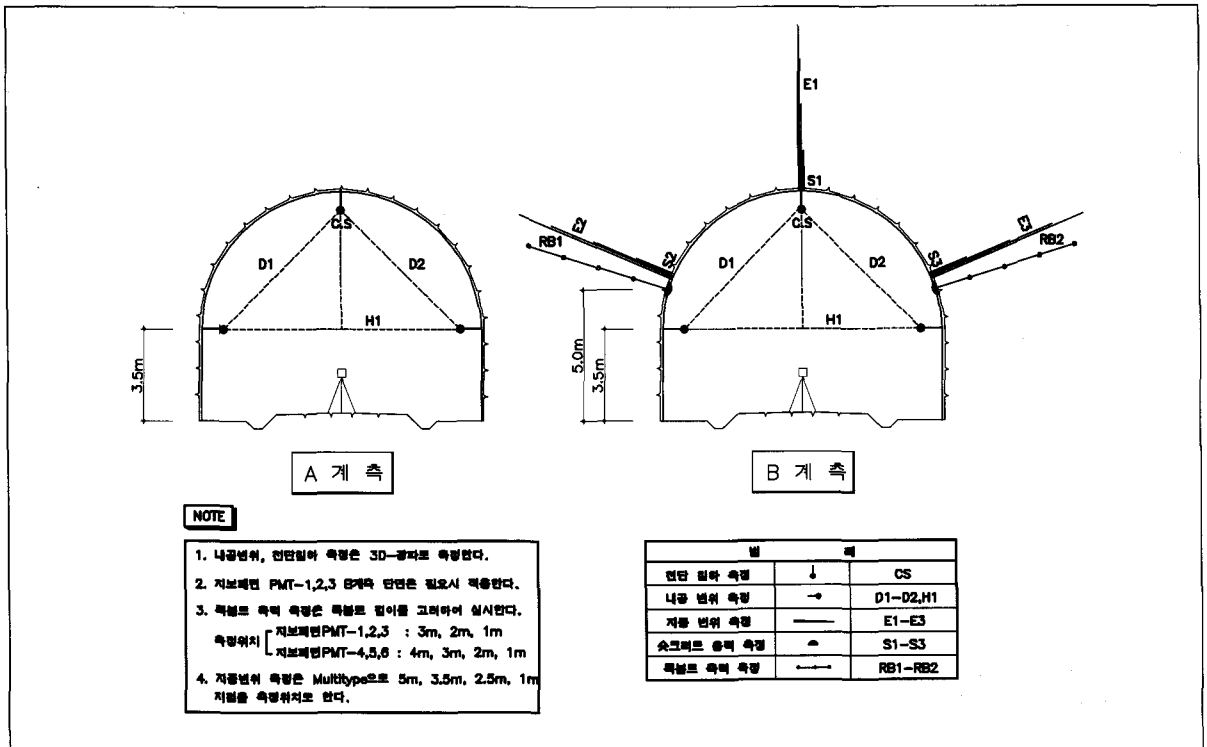


그림 8. 계측표준단면



표 12. 남산 2호 터널 계측계획

계측기 설치장소	계측목적	계측기	수량 (단위: set)
교차부 계측	남산1호 구터널의 처짐으로 인한 가시설(H-Pile)에 미치는 하중량측정 (과도하중 발생시 가시설 보강)	Strut 축력계 (Load Cell)	4
	H-Pile의 변형률 측정 (축력산정을 위한 간접방법)	Strut 변형율계 (Strain Gauge)	32
	남산1호 구터널 슬래브의 처짐상태 파악	변위계 (Wire 식)	6
	2호터널 저면과 남산1호 신터널과의 상대변위량 측정	지중변위계	3
	남산1호 신터널 상부라이닝의 변형상태 파악	라이닝변형측정 (Strain Gauge)	6
	남산1호 구터널과의 교차부부근 2호터널 측벽라이닝에 작용하는 하중에 의한 콘크리트 압축응력 측정	콘크리트 유효응력계	2
터널계측	단면의 변형상태, 변위의 수렴상태, 변위속도에 의한 주변지반의 안정성, 일차지보의 타당성 확인 콘크리트라이닝 타설시기 등의 결정	내공변위측정	100
	터널 천단 절대침하량 및 지반봉락 감지	천단침하측정	50
	터널 반경 방향으로의 변위측정 (터널주변 이원영역파악, 록볼트의 적정길이 판단)	지중변위측정	36
	지반 이완 하중의 크기와 분포, 콘크리트라이닝 타설시기 결정	숏크리트 응력측정	72
	록볼트의 항복점과 강도와의 관계, 응력분포에서 적절한 록볼트의 길이 확인	록볼트 축력측정	24
	갱구부 터널주변 깊이별 수평지반거동 확인	갱구부 지중수평 변위측정	4

## 4.8 터널 계측계획 및 결과 분석

### 4.8.1 터널 계측계획

본 공사에서는 기존 터널 굴착에 대한 개수공사이므로 일상관리계획(A계측) 간격을 약 60m로 설정하였으며, 계측위치는 갱구부, 단층파쇄대등 지반 취약부, 남산1호터널과 교차되는 구조물 교차부 및 접속부 등에 대표위치계측(B계측)을 실시하였다(그림 8). 또한 터널계측외에 남산 2호터널 측벽 라이닝 콘크리트 철거시 시공되었던 1호터널 교차부 가시설에 집중적으로 계측기를 설치하여 측벽 라이닝 해체에 따른 1호터널 바닥슬래브의 거동을 관측하여 시공중 구조물의 안정성확보에 이용하였다. 표 12는 개수공사에 적용된 계측기 종류 및 계측수량을 나타낸다.

### 4.8.2 계측결과 분석

#### 1) 계측관리치

본 공사의 경우는 기존에 시공된 터널을 28년간 경과한 시점에서 개수하는 공사이므로 지반이완이 수렴한 상태로 판단하였다. 따라서 일반신설터널의 계측관리치보다 작은 관리치를 설정하였으며, 수치해석결과 기존콘크리트 라이닝 해체시 천단침하는 약 1mm 이하로 해석된 상태였다. 당현장에서 적용된 지보의 주 목적은 낙반방지 및 터널의 장기적인 안정성 확보이므로 추가굴착이 없는 본선과 확폭굴착을 하는 비상주차대로 분리하여 관리하였다. 계측관리 Level은 총 3단계로 설정하여 현장관리에 용이하도록 설정하였다. 표 13, 14는 당 공사에 적용된 터널 계측관리치와 계측관리 Level을 나타내었다.

#### 2) 계측결과 및 분석

거의 모든 계측 결과가 유사하여 확대굴착을 하는 비상주차대에 설치된 대표계측단면을 선정하여 분석을 실시하였다. 해석 대상 단면은 이태원측 비상주차대 구간에 설치된 계측단면으로 흑운모편마암 지대로 현재는 방수

표 13. 계측관리치

설치위치	Level	천단침하 (mm)	내공변위 (mm)	숏크리트 (kgf/cm <sup>2</sup> )	록볼트 (ton)
본선	I	변위발생	변위발생	5.0	1.0
	II	2.0	2.0	10.0	2.0
비상주차대	I	2.0	2.0	10.0	2.0
	II	5.0	5.0	30.0	5.0

표 14. 계측관리 Level

구분	정의
Level I	• 해석결과와 유사지반 실측치의 최대값의 70% 범위내에서 변위속도의 추이를 주시하고 계측빈도를 1회/일 이상으로 증가
Level II	• 예상 최대값을 상회하는 경우로서 본 공사관련 상위기간에 보고하여 전문가의 검토와 지보패턴의 조정이 필요한 단계
Level III	• Level II를 상회하는 단계로서 육안에 의한 변상 등이 관찰되며 붕락등이 우려되는 상황으로서 즉각적인 보강이 필요한 단계

표 15. 계측기설치 현황 (B4, 이태원측 비상주차대)

계측위치	계측기명	계측시점	계측종료	설치수량	비고
B4 (STA 1+269)	천단침하계	2000. 1. 17	2000. 3. 31	1	
	내공변위계	1999. 12. 3	2000. 3. 31	2	
	숏크리트응력계	2000. 2. 12	2000. 3. 31	6	
	록볼트축력계	2000. 1. 17	2000. 3. 31	2	
	지중변위계	2000. 1. 17	2000. 3. 31	3	

표 16. 계측결과 요약

계측위치	계측기명	계측결과	비고
B4 (STA 1+269)	천단침하계	누계변위 : 2mm	방향성없음
	내공변위계	누계변위 : 1mm	방향성없음
	숏크리트응력계	최대발생압력 : 0.07kgf/cm <sup>2</sup>	
	록볼트축력계	최대발생축력 : 0.49 tonf	
	지중변위계	최대발생변위 : 0.81 mm	

시공으로 계측이 종료된 상태(계측종료 : 2000. 3. 31)이며, 계측기 설치후 약 3개월에 걸쳐 계측을 실시하였다(표 15).

계측결과를 분석해 볼 때 계측시점부터 지반의 이완에 따른 응력 및 변위의 변화는 거의 없었으며, 이러한 경향은 상기 구간뿐만 아니라 당현장 거의 모든 구간의 결과와 유사하였다(표 16).

상기 계측결과에 보아 천단침하계는 전체적으로 매우 안정된 모습을 나타내고 있다. 최대 누계 변위량이 2mm

정도로 나타났고, 전체적으로 일정한 방향성이 없는 산발적인 변위의 형태를 보이고 있어 안정된 결과치를 보이고 있다. 또한 내공변위계 역시 전체적으로 매우 안정된 모습을 보이고 있다. 최대 누계 변위량은 내공방면으로 1mm에서 배면 방면으로 1mm를 나타내고 있다. 변위의 형태가 불규칙적으로 나타나고 있어 실질적인 변위로 판단하기 어렵고 기계적인 오차에 의해 발생된 결과라 판단된다. 이 외에 숏크리트 응력계, 록볼트 축력계, 지중변위계 등도 응력 및 변위의 변화는 거의 감지 할 수 없었

며, 모두 안정적인 양상을 보였다. 계측결과를 종합하면 터널 주변 암반은 2호 터널이 처음 굴착된 이후에 이미 안정상태에 들어가 암반의 이완하중이 라이닝에 거의 작용하지 않은 것으로 판단된다.

## 4.9 환경영향 검토

### 4.9.1 환경영향 요소의 추출

환경영향 요소란 개발행위에 따라 해당지역 및 그 주변 지역의 환경에 영향을 미칠 주된 원인을 말한다. 환경영향의 예측, 분석 및 저감대책수립 기본방향을 설정하기 위한 환경영향요소(개발행위)의 추출은 보공사의 목적, 배경, 필요성 및 대상지역의 현황과 공사의 특성, 그리고 그로 인한 환경영향을 파악한 후 실시하였다.

### 4.9.2 환경영향검토 및 대책수립

1) 우·오수 분리 배수시스템 적용 : 터널내 세정오수와 지하수를 분리하여 배수하므로서 장차 분류식 배수망 계획을 대비하여 적용하였다.

2) 폐기물 재활용 계획 : 공사중 발생하는 폐기물 재활용 계획으로 폐아스콘은 관리소내 부지 및 중점부 관리소 집입도로 아스콘 포장으로 재활용하고 폐 콘크리트 하천정화기술로 활용토록 하였다.

3) 공사용 집진기 설치 : 공사시 집진기를 터널 시·중점부에 각 1대씩 2대를 설치하여 구조물 철거로 인한 대기오염을 최소화하였다.

4) 오락수 처리조 설치 : 터널 갱구부에 오락수 침전조 및 폐수의 화학적 처리 설비를 설치하여 공사중 발생하는 오수로 인한 수질오염을 방지하였다.

5) 이동식 방음벽 및 가설 차음벽 설치 : 철거 작업시 이동식 방음벽, 가설차음벽 설치로 건설장비 소음을 차단하였다.

6) 저소음, 저진동 공법(Bigger, Water Jet공법) : 특수 기계장비(Bigger)사용과 Water Jet공법을 이용하여 소음 및 진동 저감하였다.

## 5. 결론

남산 2호 터널은 완공된 이후 약 30년 동안 도로터널로서 서울 도심의 중요한 교통연결로의 기능을 수행해왔다. 그러나, 오랜 기간의 공용으로 터널은 노후화 되어 터널로서의 기본기능이 저하된 상태였다. 이에 따라 터널의 개수공사가 실시설계·시공일괄방식으로 발주되었다.

남산 2호 터널은 국내 최초로 수행된 개수공사이며 터널의 전면 개수하는 공사는 국내는 물론이고 외국에서도 실적을 찾아보기 힘든 공사이다. 또한, 재래식공법(ASSM)에 의해 건설된 터널에 대하여 약 30년간의 공용으로 인하여 터널의 지보재 및 주변암반의 변화에 대한 자료가 거의 전무한 상태에서 이루어진 개수공사였다.

터널의 전면적인 개수는 정밀한 조사 및 계측을 필요로 하고 이에 대한 정확한 분석과 합리적인 시공법의 선정 없이는 불가능한 공사일 것이다. 남산 2호 터널의 개수공사를 통하여 공용 30년 터널의 전반에 대한 자료를 축적할 수 있었으며 이에 상응하는 합리적인 공법을 도출할 수 있었다. 앞으로 남산 2호 터널 개수공사와 유사한 사업의 계획 및 시공에 있어서 중요한 자료로서 활용이 기대된다.

## 참고문헌

1. 남산 2호 터널 정밀안전진단보고서, 시설안전기술공단(1996)
2. 터널 보수, 보강기술 편람, 시설안전기술공단(1996)
3. 남산 2호 터널 개수공사, 기본설계보고서, 서울시건설안전관리본부(1998)
4. 남산 2호 터널 개수공사, 실시설계보고서(1998)
5. 남산 2호 터널 개수공사, 지반조사보고서(1998)
6. 남산 2호 터널 개수공사, 구조 및 수리계산서(1998)
7. 도로설계요령 제4권 터널, 한국도로공사(1992)
8. 터널(지반공학시리즈7권), 한국지반공학회(1998)