

터널설계의 허(虛)와 실(實) (I)

- 터널의 개수공사 설계를 중심으로 -

김승렬 ((주) 에스코컨설턴트, 대표이사)

1. 머리말

기원전 701년경에 건설되었다는 히스기야 터널(예루살렘 소재, 길이 525m)에 대해서 신문지상에 기사화 된 것을 읽은 적이 있다. 2700여년 전에도 터널이 필요하였고 오늘날에도 터널이 필요하듯이 먼 훗날에도 터널은 우리 삶의 편의를 위해 필요한 시설물로서 계속 존속될 것임을 시사해 주는 일례라 하겠다.

돌이켜보면 우리나라의 터널건설 역사도 꽤 오래되었을 것이다. 그러나 그 규모와 수 및 이용면에서(채광용인 광산터널은 제외) 살펴본다면 산업이 급속도로 발달해온 과거 70여년 사이에 대부분의 터널이 건설되었을 것으로 보인다. 터널의 건설기술도 1980년대초를 기점으로 그 이전에는 채래식 공법이, 그 이후는 NATM공법이 주공법이 되었기 때문에 오늘날 우리가 이용하는 터널은 이 두 공법 중의 한 공법으로 건설된 것일 것이다. 더 구체적으로 언급한다면 터널이 20여년 전에 준공되었다면 거의 대부분 채래식 공법으로 건설되었다고 분류해도 틀리지 않을 것이다.

지구상에는 완성당시의 모습을 영원히 간직하는 피조물이 존재하지 않는 것처럼 터널이라는 시설물 역시 그 수명을 가지게 된다. 구조물들이 수명이 다해 가면 여러 가지의 징후를 보이게 되고 그

경중에 따라 보수 또는 보강하여 계속 사용하거나 사용을 금하게 된다.

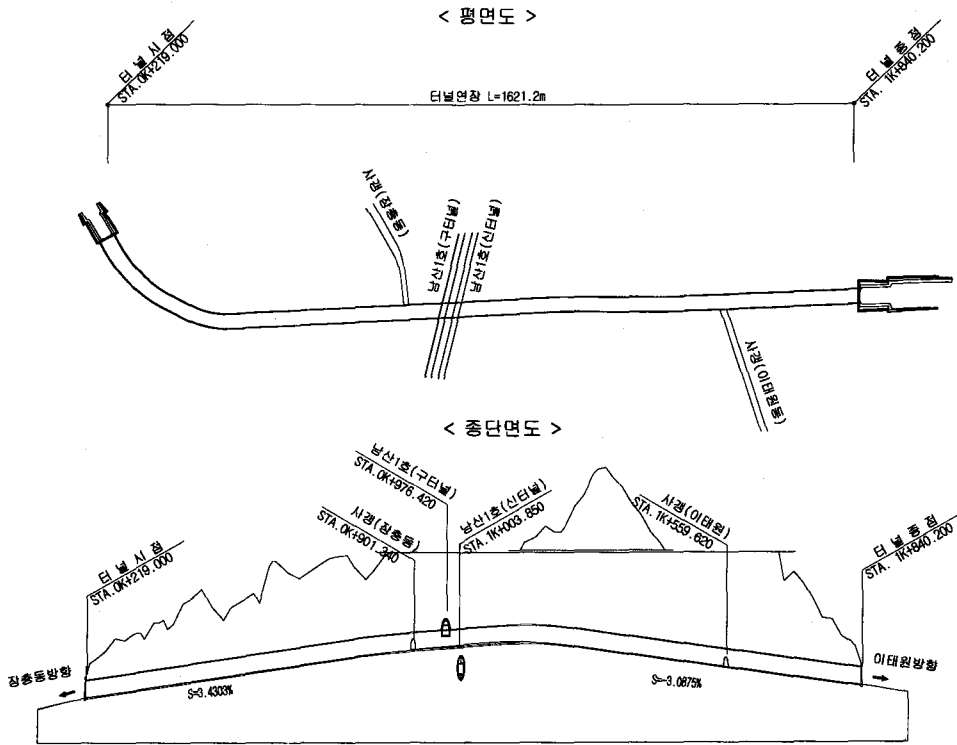
이에 대한 판단과 가장 합리적인 대안을 제시하는 것이 보수·보강 또는 개수공사의 설계이다. 우리는 그 동안 건설에만 관심을 집중하였다고 해도 과언이 아닐 것이다. 어쩌면 이 구조물의 수명이 다하게 되었을 때의 문제를 그 때 가서 처리할 문제로 미루어 왔는지도 모른다. 그러나 이제는 이미 구축해 놓은 터널에 대해서도 많은 관심을 보여야 할 시점에 와 있다. 수명이 오래된 터널이 많아지고 있을 뿐만 아니라 기반시설의 확충이 많아지면서 신설터널의 건설보다는 이미 건설해 놓은 터널들을 계속 사용 가능한 구조물의 모습으로 유지시키는 작업의 비중이 점점 늘어나게 될 것이기 때문이다.

본고는 이 점에 주목하여 사용중인 터널의 전면 개수가 요구되는 경우 터널설계를 어떻게 수행하면 좋을 것인가를 서울 남산2호터널 개수공사 설계를 통하여 살펴보고자 한다.

2. 서울 남산2호터널의 현황 및 문제점

2.1 터널구조물 현황

남산2호터널은 1970년 12월에 준공(시공자: 동아건설)된 길이 1,622m의 2차선 터널로서 채래식



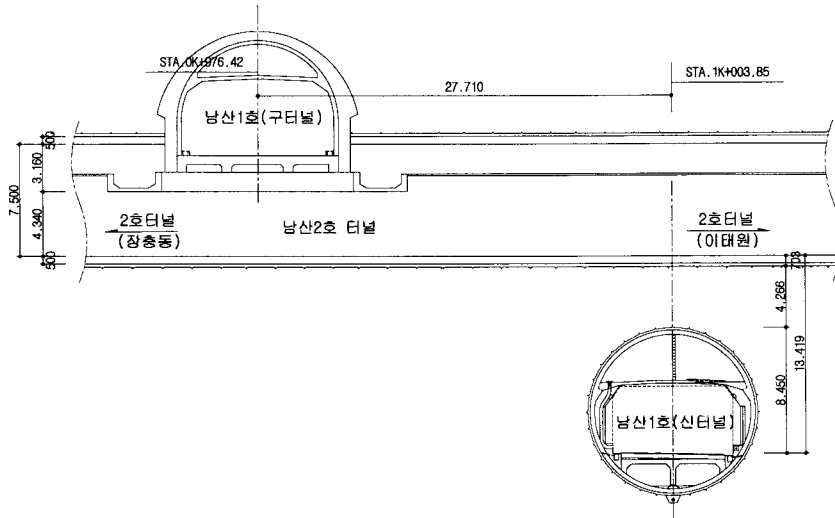
<그림 2.1> 남산2호터널의 종평면 개략도

터널공법으로 건설되었다. 이 터널은 개통 이래로 서울 중심부에 위치한 남산 북동방향의 장충동일대 교통량과 남서방향의 이태원일대 교통량을 연결해주는 도로터널기능을 수행해 왔다. (<그림 2.1> 참조)

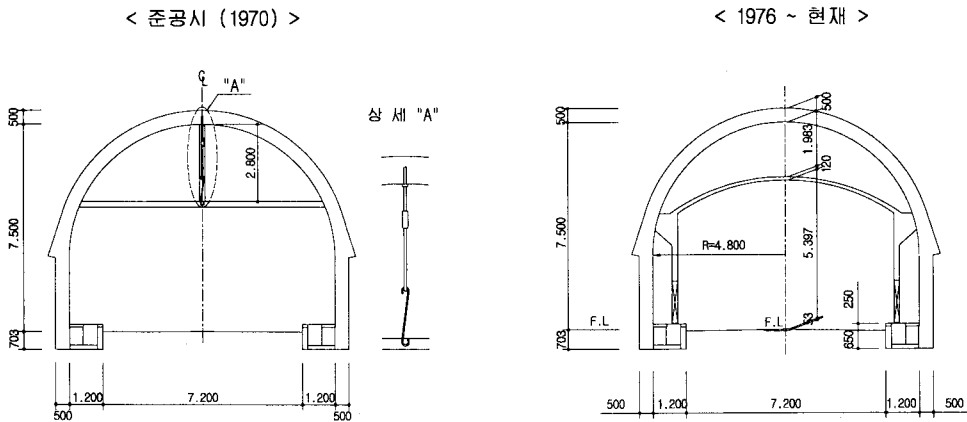
평면선형상 이 터널의 시점을 장충동쪽 갭문으로 취하였을 때 시점부에 반경이 약 316m인 곡선선형을 이루고 그 이후부터 종점부까지는 직선선형을 이루고 있다. 종단선형은 시점과 종점에서 터널중심부를 향하여 각각 3.4%, 3.0%의 상향구배를 이루고 있다. 특이한 사항으로는 장충동측 입구로부터 약 680m 지점(이하 장충동사갱)과 약 1,340m 지점(이하 이태원사갱)에 공사용 사갱이 있다. 이 두 사갱은 각각 터널에서 국립극장 쪽과 용암약수터 쪽으로 상향구배를 이루며 지상에 연결되어 있으나, 출구부가 모두 매립되어 있는 상태

이다. 이태원 쪽 용암약수터 출구 인접부에는 오래 전 사용이 폐지된 콘크리트 벙커 구조물의 민방위 시설이 있다. 특히, 남산2호터널은 시점으로부터 약 757m지점에서 남산1호터널의 바다부를 관통하여 교차하고, 약 785m 지점에서 남산1호터널 상부와 약 4.3m정도 이격되어 서로 교차하고 있다. (<그림 2.2> 참조)

터널은 2차선 대면교통흐름을 가지고 있으며 최대폭원이 <그림 2.3>에 나타난 바와 같이 준공 당시에는 9.6m이었으나, 1976년 1차 대보수시 환기덕트의 판넬구조물을 교체하면서 현재와 같은 내부구조물을 설치하여 약 8.0m로 줄어 들었다. 그 이후에도 여러 차례의 크고 작은 보수가 이루어졌다. 터널갭문 형식은 시·종점 모두 면벽식이며 입구 좌우에 중력식 옹벽이 설치되어 있다. 터널의 유지관리를 위해 시점과 종점에 각각 1개소씩 관



<그림 2.2> 남산2호터널과 남산1호터널의 교차부 현황



<그림 2.3> 준공당시의 터널단면과 현재의 터널단면 비교

리사무소가 위치하고 있다.

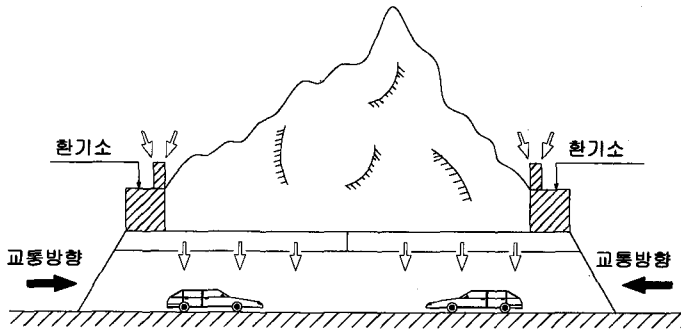
2.2 환기 및 전력설비 현황

환기방식은 터널의 양쪽 입구부의 관리사무소에 설치된 축류팬에 의해 터널내부로 송기된 신선한 공기가 환기덕트 하부의 개구부를 통해 터널내부

로 유입되면서 오염된 내부의 공기를 터널입구 쪽으로 밀어내도록 하는 이른바 반회류식 송기형식이다. 터널내부의 환기덕트는 <그림 2.2>에 표시된 바와 같이 남산1호터널에 의해 완전히 양쪽으로 단절되어 있고 터널의 중심부가 입구쪽보다 25m 정도 높기 때문에 송기된 신선한 공기가 남산1호

〈표 2.1〉 전력 및 조명설비 현황

구분	용량	수량	형식	설치시기	
전력설비	변압기	3φ1500KVA	3대(예비1대)	유입자냉식	94. 12. 30
	배전반	-	31면	옥내자립형	94. 12. 30
	발전기	350KW	1대	공냉식	70. 12. 4
조명설비	조명등	66W	646등	SOX-E (조일조명)	
		91W	156등		
		131W	60등		
환기설비	시점부	90m ³ /sec×100mmAg×160KW	2대	송기형	
	종점부	90m ³ /sec×100mmAg×160KW	2대	송기형	



〈그림 2.4〉 반회류식 송기형 환기방식 모식도

구터널 교차부까지 일정한 압력을 유지한 채 미치지 못하게 되는 경우에는 터널중앙부에 오염된 공기가 남아 있을 수 있는 구조형식을 가지고 있다. 전력설비 및 조명설비와 환기설비 현황을 요약하면 〈표 2.1〉과 〈그림 2.4〉와 같다.

2.3 남산2호터널의 기능 및 구조적인 문제점

1976년 1차 대보수시 기성 콘크리트제 환기덕트 바닥슬래브를 현재의 현장타설 내부구조물로 교체함에 따라 내공단면이 줄어들어 2차선 대면교통 운행상 내부공간의 폐쇄감이 다소 증가되었고, 경사로 교차하는 남산1호터널의 바닥이 환기덕트의 바닥슬래브 하부로 돌출 되어 있기 때문에 건축 한계상의 높이가 부족하여 차량통행에 지장을 주고 있다. 특히 양측벽의 내장용 타일이 여러군데에서 탈락하였고 현재에도 철제 격자구조물을 측

벽 타일부착부 여러 곳에 부착시켜 추가의 타일 탈락을 방지하고 있는 상태이다. 무엇보다도 환기상태가 좋지 않아 터널내부의 환경이 열악한 상태이다.

환기덕트 내부에서 관찰한 천정부 콘크리트 라이닝에는 균열이 심하게 발달되어 있으며 그 동안 여러 차례의 보수로 인해 군데군데 콘크리트를 덧붙임한 흔적이 많고 누수도 발생하고 있다. 콘크리트 구조물의 안정성 보유유무를 확인하기 위해 최근에 실시된 정밀 안전진단(1996년)에서는 다음과 같은 결론을 내리고 있다.

- 1) 남산2호터널은 재래식 터널공법으로 1970년 12월 준공되어 28년이 경과된 터널로서 수차례의 보수이력을 가지고 있을 뿐만 아니라 천단부에 균열, 누수 등이 계속 발생하여 지속

적인 보수·보강을 시행해 오고 있으며

- 2) 콘크리트 라이닝 배면에 공동이 상당구간 형성되어 있어서 이를 방치할 경우 기반암의 풍화를 지속적으로 발전시켜 결국 이용자의 안전을 위협할 가능성이 크다. 특히, 내부보강 구조물의 타일 등이 박리되는 등으로 인하여 부분적이고 일시적인 보수만으로는 구조물 건전성 확보가 어려울 것으로 판단된다.
- 3) 아울러 환기설비 등 기존 시설물의 노후화 개선 등 터널내부 환경의 질적향상을 통하여 점점 증가추세에 있는 터널 이용자들에게 쾌적한 터널 환경을 제공하기 위하여 터널의 전면적인 개수공사가 필요하다.

이 외에도 지표면 우수가 사갱을 통하여 터널 내부로 유입되는 사고가 몇 차례 발생하기도 하였다. 따라서 <표 2.2>와 같은 내용의 전면개수공사가 필요하게 되었다.

<표 2.2> 남산2호터널 개수공사의 범위

분야	공사범위	내용	비고
토목 · 건축	해체 및 재시공	<ul style="list-style-type: none"> • 터널내부구조물 및 콘크리트 라이닝 • 터널내 포장 • 시·중점측 갱문 • 중점측 옹벽 • 시·중점측 관리사무소 (부대 토목시설 포함) • 터널과 환기실 연결 환기덕트 	
	보수 및 보강	<ul style="list-style-type: none"> • 터널 건설 당시 굴착된 사갱 2개소 • 시점측 옹벽 	
기계 · 전기통신	해체 및 재시공	<ul style="list-style-type: none"> • 터널의 환기시설 및 기계설비 • 전기설비 • 방재 및 비상시설 • 계측 및 제어 감시시설 	
기타	재시공	<ul style="list-style-type: none"> • 조경공사 • 기타 부대시설 	

3. 터널을 전면개수할 경우의 주요검토 사항

3.1 기존자료의 검토

사용중인 터널을 개수하고자 할 경우에는 그 이유가 있기 마련이다. 따라서 준공이후 지금까지의 사용기간 동안 어떠한 문제가 발생하였으며 그 원인을 무엇으로 추정하였고 어떻게 보수하고 보강하였는지 조사하고 분석하여야 한다. 특히 초기설계에서 제시되었던 시공 방법과 실제시공에서 이루어진 시공방법간의 차이를 파악하는 등의 시공기록에 대한 상세한 분석이 필요하다. 단순한 준공도면의 검토결과만을 가지고는 합리적이고 안전한 개수설계를 수행할 수 있다고 자신할 수 없다. 즉, 실제 시공시의 막장관찰기록과 적용된 보조 공법, 위치별 시공시의 문제점 및 적용대책공법 등을 철저히 분석하여 개수설계에 반영하여야 좋은 개수설계가 되게 된다. 이러한 시공기록이 보관되어 있지 않는 경우에는 재조사를 실시하여 개수시 발생가능한 문제점을 분석하고 적절한 대책을 강구하여야 하는데 여건상 조사가 불가능하게 되는 경우도 있고 조사에는 항상 한계가 있기 때문에 이를 토대로 이루어지는 개수설계 역시 많은 제한성이 있기 마련이다.

3.2 서비스 수준의 향상방안 검토

터널을 전면개수하는 경우는 구조적으로 안전상에 문제가 있거나 현재의 기능을 향상시킬 필요가 있을 경우이다. 따라서 기왕에 개수를 한다면 평면선형이나 종단선형을 개선해주고 가능하다면 폭원도 넓혀 교통의 흐름을 종전보다 원활하게 하도록 하는 것이 바람직하다. 특히 터널내부의 환경을 개선해 주고 방재시설이나 안전시설 등을 구비하도록 하여 터널의 기능적인 측면이 향상되도록 하여야 한다. 경우에 따라서는 별도의 신설터널 계획도 검토할 필요가 있다.

3.3 개수공사시의 안전성 확보방안 검토

개수대상 터널의 건설공법이 파악되면 그 공법의 기본원리와 시공상의 특성을 분석하고 개수공사를 위한 핵심조사 사항을 설정하여야 한다. 오랫동안

동안 사용해 온 터널을 전면적으로 개수하고자 할 경우에는 현재의 지반상태와 구조물 상태에 대한 합리적이고 철저한 조사를 실시하여 터널의 지보재를 해체하거나 추가의 굴착을 실시할 때 압괴가 봉락되거나 터널이 붕괴되는 등의 문제가 발생하지 않도록 조치하여야 한다. 특히 가장 취약한 부분을 분석하여 특별관리대상 구간으로 구분하여 시공시 유의하도록 하는 것이 바람직하다.

3.4 주변환경과 시설물에 미치는 영향 검토

도로터널의 개수공사는 전면 또는 부분적인 교통통제가 필요하다. 이렇게 교통을 통제하였을 경우 발생가능한 문제점을 분석하여 공사기간 동안 불편을 최소화하도록 하여야 한다. 도심지 터널인 경우는 시공에 따른 소음, 진동, 먼지 등의 생활공해를 줄이고 개수공사로 인한 건물, 공공시설물 등의 안전성이 확보될 수 있도록 하여야 한다. 특히 기존시설이 가지고 있는 환경적 위해요인을 개선하여 환경친화적 시설이 되도록 배려하여야 한다. 갭문 및 터널외부의 시설물들이 주위환경에 잘 조화되는 구조물이 되도록 계획하여야 한다.

3.5 공사기간 단축방안 검토

기존에 이용하던 도로나 시설을 이용하지 못하게 될 때에는 불편을 느끼기 마련이다. 따라서 가능한 한 공사기간을 단축시켜 이용자의 불편을 줄이되 이것으로 인해 부실한 시공이 되지 않도록 각별한 주의를 기울여야 한다. 신속한 해체공법과 신설구조물의 시공방안을 강구하여야 한다. 가능한 한 각 공종 간의 마찰이 적도록 시공계획을 작성하고 민원에 의한 공기 지연요인이 적은 공법을 적용하도록 하여야 한다.

3.6 해체된 구조물의 재활용 방안 강구

해체물은 선별하여 재활용할 수 있도록 하여야 한다. 특히 콘크리트 해체물은 뒤채움 재료 또는 도로 포장의 보조기층재료 등으로 활용할 수 있고 철재도 재사용할 수 있으므로 재활용 방안을 강구하여 환경

을 보호하고 자원낭비를 줄이도록 하여야 한다.

4. 서울 남산2호터널의 개수설계(안)

4.1 조사

4.1.1 기존자료의 조사

남산2호터널은 재래식공법으로 시공되어 지난 28년 동안 시민에게 교통편의를 제공해 왔다. 이미 앞에서 언급한 바와 같이 1976년 1차 보수이래 크고 작은 보수를 실시하였고 최근에는 3차레에 걸친 정밀안전진단이 이루어졌다. 이들을 <표 4.1>과 <표 4.2>에 정리하였다. 초기 시공당시의 시공기록이 보관되어 있지 않아 남산1호구터널과 관통하여 교차하게 된 이유, 교차부 구조물 형태 및 설계조건은 물론 터널의 전구간에 걸쳐 시공시 관찰된 실제 지반조건 등에 대한 자료분석이 불가능하였다. 따라서, 새로운 지반조사와 구조물조사 결과만을 가지고 개수설계를 수행할 수 밖에 없는 실정이었다.

<표 4.1> 1차보수 후의 보수·보강 현황

시 기	보수·보강 현황
1985.	방수공사: 1,942m ²
1986. 6 ~ 1986. 7	옹벽도장: 1,272m ²
1988. 4 ~ 1988. 7	소화전 배관: 1,860m, 소화전 설치: 33면
1989. 2 ~ 1989. 12	타일시공: 7,372m ² , 벽체도색: 3,373m ² 콘크리트 벽체: 4,844m ²
1989. 10 ~ 1989. 11	관리사무소 정비
1990. 3 ~ 1990. 12	옹벽 및 기계실 외벽도색: 4,927m ²
1992. 5 ~ 1992. 7	터널내 환기덕트 방수공사: 742m ²
1992. 9 ~ 1992. 9	도로바닥 방수: 30m
1993. 1 ~ 1993. 2	내부 구조물 벽체타일 보수: 80m ² (붕괴지점벽체보수)
1994. 10 ~ 1994. 11	누수지역 보수: 6개소, 미세균열 보수: 4개소
1995. 7 ~ 1995. 8	터널 내부라이닝 보강공사: 392m ²

〈표 4.2〉 정밀안전진단 현황 및 결과

구분	결과 요약	비고																																										
1차 조사 (한국종합기술 개발공사, 1987)	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 벽면 미관불량에 따른 벽체 타일 시공 제안 ◻ 조치 : 타일시공(89년) 입·출구부 조도 저하에 따른 입구부 조명등 보완 제시 소화전 설비 노후화에 따른 소화전 설비 보완 제안 ◻ 조치 : 소화전 설치(88년) 	남산 1, 2, 3호 터널 개수공사 실시설계보고서 (1987. 7)																																										
2차 조사 (동국대학교, 1993)	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 라이닝의 열화현황(전면적에 대한 비) <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>균열</th> <th>박리파손</th> <th>백화</th> <th>콘크리트품질</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7.7%</td> <td>5.2%</td> <td>10.7%</td> <td>0.3%</td> </tr> </tbody> </table> 조사결론 : <ul style="list-style-type: none"> - 재래식 터널공법에 의한 시공, 품질관리 및 시공관리 부실로 콘크리트 내구성이 저하 (열화 진행)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. 	균열	박리파손	백화	콘크리트품질	7.7%	5.2%	10.7%	0.3%	서울시 주요구조물 안전진단(1차)(Ⅳ) (1993. 12)																																		
균열	박리파손	백화	콘크리트품질																																									
7.7%	5.2%	10.7%	0.3%																																									
3차 조사 (시설안전기술 공단, 1996)	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 라이닝 진전도 평가결과 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tbody> <tr> <td>공동 (1,830m²)</td> <td>· 콘크리트 라이닝 아치부 배면공동 추정구간 ※ 터널전체 주변적의 7%(터널아치부 총길이의 50%)</td> </tr> <tr> <td>균열 (144개소)</td> <td>· 보수를 요하는 구간 : 144개소로 전체(246개소)의 58% - E 등급 (0.7mm 이상) : 33개소 - D 등급 (0.3~0.7mm) : 111개소 ※ 20m 단위로 우측벽, 좌측벽, 아치부 분할</td> </tr> <tr> <td>누수 (124개소)</td> <td>· 보수를 요하는 구간 : 124개소로 전체(246개소)의 50% - E 등급(균열사이로 물이 계속 떨어지는 상태) : 2개소 - D 등급(균열사이로 누수가 많은 상태) : 17개소 - C 등급(우기시 누수에상 부위) : 105개소</td> </tr> <tr> <td>파손 (18개소)</td> <td>· 보수를 요하는 구간 : 18개소로 전체(246개소)의 7% - E 등급(즉시 보수를 요하는 경우) : 6개소 - D 등급(파손 면적이 10×10~30×30cm 미만) : 12개소 ※ 파손 : 박리, 박락, 철근노출, 골재노출 등</td> </tr> <tr> <td>두께 (90개소, 588m)</td> <td>· 콘크리트 라이닝 두께 30cm이하 구간 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <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> </td> </tr> </tbody> </table> ◻ 조치 : 전면개수 결정 	공동 (1,830m ²)	· 콘크리트 라이닝 아치부 배면공동 추정구간 ※ 터널전체 주변적의 7%(터널아치부 총길이의 50%)	균열 (144개소)	· 보수를 요하는 구간 : 144개소로 전체(246개소)의 58% - E 등급 (0.7mm 이상) : 33개소 - D 등급 (0.3~0.7mm) : 111개소 ※ 20m 단위로 우측벽, 좌측벽, 아치부 분할	누수 (124개소)	· 보수를 요하는 구간 : 124개소로 전체(246개소)의 50% - E 등급(균열사이로 물이 계속 떨어지는 상태) : 2개소 - D 등급(균열사이로 누수가 많은 상태) : 17개소 - C 등급(우기시 누수에상 부위) : 105개소	파손 (18개소)	· 보수를 요하는 구간 : 18개소로 전체(246개소)의 7% - E 등급(즉시 보수를 요하는 경우) : 6개소 - D 등급(파손 면적이 10×10~30×30cm 미만) : 12개소 ※ 파손 : 박리, 박락, 철근노출, 골재노출 등	두께 (90개소, 588m)	· 콘크리트 라이닝 두께 30cm이하 구간 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <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>	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	남산2호터널 정밀안전진단 보고서 (1996. 11)
공동 (1,830m ²)	· 콘크리트 라이닝 아치부 배면공동 추정구간 ※ 터널전체 주변적의 7%(터널아치부 총길이의 50%)																																											
균열 (144개소)	· 보수를 요하는 구간 : 144개소로 전체(246개소)의 58% - E 등급 (0.7mm 이상) : 33개소 - D 등급 (0.3~0.7mm) : 111개소 ※ 20m 단위로 우측벽, 좌측벽, 아치부 분할																																											
누수 (124개소)	· 보수를 요하는 구간 : 124개소로 전체(246개소)의 50% - E 등급(균열사이로 물이 계속 떨어지는 상태) : 2개소 - D 등급(균열사이로 누수가 많은 상태) : 17개소 - C 등급(우기시 누수에상 부위) : 105개소																																											
파손 (18개소)	· 보수를 요하는 구간 : 18개소로 전체(246개소)의 7% - E 등급(즉시 보수를 요하는 경우) : 6개소 - D 등급(파손 면적이 10×10~30×30cm 미만) : 12개소 ※ 파손 : 박리, 박락, 철근노출, 골재노출 등																																											
두께 (90개소, 588m)	· 콘크리트 라이닝 두께 30cm이하 구간 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <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>	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																																									

4.1.2 개수설계를 위한 조사의 종류와 결과

1) 자료수집 및 분석조사

터널개수시 서비스 수준 향상의 일환으로 선형을 개선하거나 폭원을 확장할 필요가 있는지 여부를 파악하기 위하여 터널의 시점과 종점 부근의 교통체계 및 관련계획 등의 검토를 실시하였다. 관련 계획 중 검토된 주요 사항은 다음과 같다.

- 수도권 정비 기본계획
- 서울시 도시 기본계획
- 서울시 교통정비 기본계획
- 교통시설 사업계획
- 지하철 6호선 건설계획
- 서울시청 이전계획

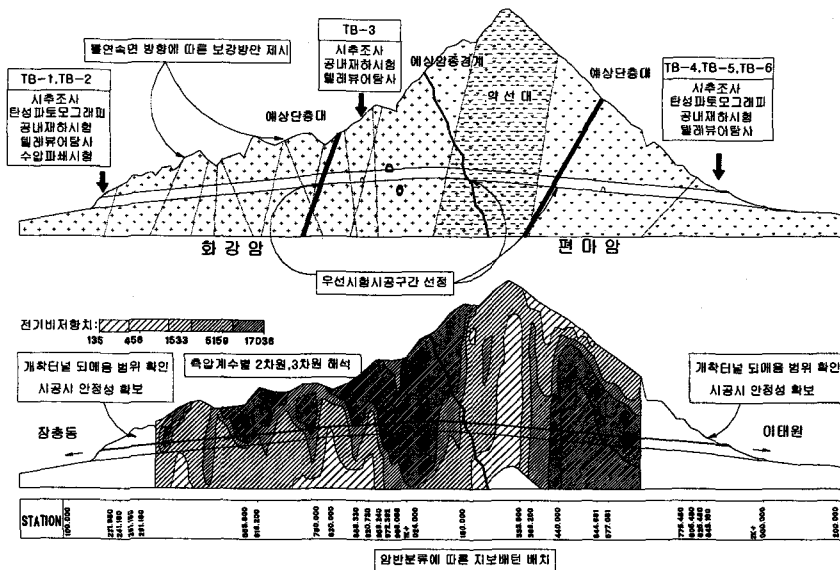
기 수립된 이러한 계획들이 남산2호터널 개수공사에 미치는 영향을 분석하는 것이 주된 검토내용이 된다. 공사기간이 장기간이 됨에 따라 기상조건에 대한 영향도 파악하기 위해 기상현황, 천기일수, 적설 및 강우현황, 배수시설, 용지 및 재료원

조사 등도 실시하였다.

남산2호터널 개수공사는 신설터널 공사가 아니고 현재의 터널과 병렬하여 새로운 터널을 추가로 건설하거나 기존 선형의 근본적인 개선을 할 수 없는 제약이 있기 때문에 관련계획과는 크게 상충되는 사항은 없었다. 다만, 교통의 전면통제에 따른 주변 교통장애를 해소해 주는 방안수립이 요구되었다. 이것에 대한 대안으로는 추가의 우회도로 건설을 최적대안으로 꼽을 수 있으나 주변여건상 우회도로의 계획은 불가능하였다. 따라서 교통신호시스템을 조정하여 장충동에서 이태원, 한남동 간의 교통을 통제해 주면 현재의 교통서비스수준 이상을 유지할 수 있을 것으로 판단되었기 때문에 전면통제시의 교통신호시스템을 새로이 수립하였다.

2) 지반조사 및 구조물 조사

조사시에는 개수공사시 발생가능한 문제점들을 사전에 분석하고 적절한 대책 수립이 가능하도록 위치와 조사항목을 선정하여야 하며 기존의 조사 자료를 최대한 활용할 필요가 있다. 정밀안전진단



〈그림 4.1〉 남산2호터널 지반개요도

〈표 4.3〉 지반조사현황

조사 항목	대상 구간	시행 목적
지표지질조사	• 터널 전연장	• 터널 노선상의 노두 관찰을 통하여 암상의 특징과 불연속면의 발달 특성 분석 • 설계구간의 지질상태 파악
시추조사	• 터널 시 · 종점부 및 중앙부 6개소	• 지층 분포상태 및 암반특성 분석 • 현장시험공으로 활용
텔레뷰어탐사	• 시추조사공중 터널 시 · 종점부 및 중앙부 5개소	• 암반내 불연속면의 발달 상태 및 원지반 암석강도 측정 • 수압과쇄 시험위치의 선정 • 시추자료와의 비교분석
공내재하시험	• 시 · 종점 및 중앙부 각 1개소에서 2회 실시(총6회 실시)	• 기반암층의 공학적 특성치인 변형계수 측정
현지암반 탄성과 속도조사	• 사갱 2개소	• 노출된 기반암의 탄성과 속도 측정을 통하여 암반특성 분석 • 터널주변 이완영역 범위 분석
탄성과 토모그래피	• 시 · 종점 각 1개소	• 시추공간 지층상태 파악 및 지반의 동적특성치 산출
수압과쇄시험	• 터널 시점부 1개소	• 기반암의 초기응력 측정으로 축압계수 산정
전기비저항탐사	• 터널 전연장 - 종 · 횡 방향	• 전반적인 지질구조 분석

시의 조사는 기존 구조물의 안전성 평가를 위한 구조물 조사가 주가 되었으며 시 · 종점 각 1개소씩 시추조사를 실시하였다. 따라서 개수설계를 위한 조사는 지반조사에 더 많은 비중을 두도록 하였으며 조사의 미비점을 보완할 목적으로 시공중 조사 계획도 수립하였다.

(1) 지반조사

신설터널의 설계를 위한 조사는 터널굴착에 따른 지반의 거동상태를 분석하기 위하여 실시되지만 개수터널의 경우는 기존 터널의 구조물 해체시 지반의 거동특성을 분석하기 위하여 실시한다. 따라서 터널 지보재의 역할과 암반상태에 대한 조사가 주된 조사항목이 되게 된다.

남산2호터널의 경우는 현재 이용중인 터널인 관계로 교통통제가 어렵고, 장비 진입 및 작업을 위한 공간확보가 곤란하여 터널 내에서의 지반조사

를 실시하는 것은 불가능하였다. 이에 대한 보완 조사로서 GPR 탐사 자료분석 및 추가 GPR 조사, 탄성과 토모그래피 조사 등을 실시하여 이완영역을 확인하고자 하였으나 이 방법 역시 기술상의 한계로 인해 확실한 조사가 불가능하였다.

따라서, 신설터널 설계시와 동일한 방법으로 노선대상 구간에 대한 지질도 분석, 지표지질조사, 전기비저항탐사, 시추조사 및 시험 등을 실시하여 화강암과 편마암의 경계, 예상단층대, 지반의 성층 상태 및 지반의 물리적 특성 등을 파악하였다. 또한 탄성과 토모그래피를 실시하여 개착구간과 터널구간의 경계를 확인하였으며 이러한 조사결과를 설계시에 적극 활용하였다. 실시된 지반조사내용을 요약하면 〈그림 4.1〉,〈표 4.3〉과 같다.

지반조사를 종합적으로 분석하여 설계에 적용한 주요 내용은 다음과 같다.

- 본 지역은 시점부에는 화강암, 종점부에는 편마암으로 이루어져 있어서 암종의 경계부가 취약할 것으로 예상되어 암종경계부를 우선 시험시공구간으로 선정하여 이 부분의 구조물을 먼저 해체하고 조사한 후 결과를 후속 공사에 반영하도록 함
- 지표지질조사, 시추조사, 탄성파탐사, 텔레뷰어탐사 결과를 토대로 불연속면 및 단층대를 추정하고 절리의 방향에 따른 록볼트의 설치 방향을 설계에 반영
- 본 지역은 2개의 예상 단층대가 존재할 것으로 파악되었다. 이 중 화강암 지역의 단층대 예상구간도 우선 시험시공구간으로 선정하여 전문화된 암종경계부와 동일한 조사시험을 실시하도록 함
- 전기비저항탐사에 의하면 남산 정상부 직하부가 전기비저항치가 낮은 것으로 나타나 이 구간이 다른 구간에 비해 시공상의 문제점을 야기시킬 가능성이 크므로 약선대 통과공법을 대안으로 제시하여 현장상황에 대처하는 시공 계획을 수립함
- 시·종점부 탄성과 토모그래피에 의한 이완영역 추정은 탄성파의 산란으로 인해 불가능하였음. 다만, 개착터널 되메움구간과 터널구간의 위치를 재확인하여 구조물 해체시 휘폴링 등의 보조공법을 적용하도록 계획함
- 수압파쇄시험에서 획득한 측압계수 ($K_0 = 1.95$)를 토대로 $K_0 = 1.0, 1.5, 2.0$ 에 대한 2차원(2D), 3차원(3D) 해석기법으로 터널의 시공시물레이션을 수행하여 콘크리트 라이닝 해체시의 지반거동 특성을 분석함
- 암반분류결과에 따른 개략적인 지보패턴을 배치하도록 하였고 실제 시공시 변경할 수 있는 대안을 제시함
- 사갱의 노출된 암반구간의 조사결과로부터 사갱과 본선 접합구간의 사공간을 비상주차대와 회차시설로 활용하였을 경우 시공상의 문제점이 없을 것으로 판단함

- 지반조건 및 터널의 기하학적인 관계조사 결과를 토대로 남산1호터널의 안전관리용 계측관리시스템을 수립함

(2) 구조물 조사

정밀안전진단시 구조물의 균열, 누수, 손상에 대한 세밀한 육안조사와 함께 천공 및 내시경조사에 의한 콘크리트 라이닝의 두께 및 배면공동조사, 슈미트 해머 및 코어채취에 의한 강도조사, 초음파 탐사시험에 의한 콘크리트 품질평가, 철근탐지기에 의한 철근배근 탐사 등 다양한 조사들도 시행되었다. 정밀안전진단 구조물조사는 충실히 수행되었다고 평가되어 개수설계시는 자료의 부족으로 확인되지 않은 남산1호구터널 교차구간 및 용벽구조물에 대한 조사에 중점을 두었다. 남산1호구터널 교차구간에 대한 GPR 탐사결과 남산1호구터널 하부슬래브의 배근현황은 확인할 수 있었으나 남산1호터널과 2호터널과의 연결 상관관계는 조사장비 접근이 곤란하여 확인할 수가 없었다. 확인이 곤란한 남산1호구터널 교차구간에 대해서는 구조물해체전 추가조사를 통하여 추가의 대책 또는 설계변경의 필요성을 분석할 수 있도록 조치하였다. 개수설계시 추가로 실시된 구조물조사를 요약하면 <표 4.4> 와 같다

앞에서 언급한 지반조사 및 구조물 조사를 통하여 암 경계, 예상 단층대의 위치, 구조물 현황 등을 파악할 수 있었지만 이러한 조사들로는 터널 구조물 해체시의 주변지반 및 구조물의 거동을 정확히 예측하기란 불가능하므로 조사의 한계성을 극복할 수 있는 대안으로 시험시공계획을 수립하였다.

시험시공계획은 '4.3 공사시 안전성 확보방안 검토'에서 서술하였다.

4.2 서비스 수준의 향상방안 검토

4.2.1 선형의 개선

터널 개수공사시 기존선형을 대폭적으로 변경하는 것은 아주 특수한 경우에 속한다. 대부분의 개

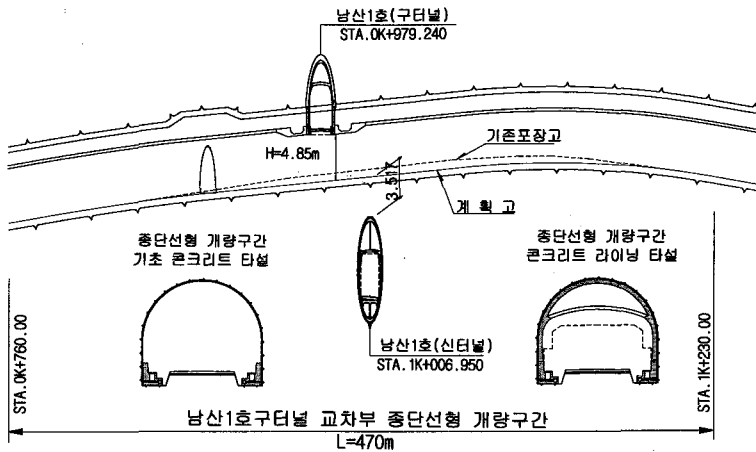
〈표 4.4〉 구조물조사 현황

구분	조사 항목	시행방법 및 구간	시행 목적	시행 목적
터 널	외관조사	• 육안조사 : 터널 전연장 (L=1,622m)	• 터널 구조물의 현황파악 • 정밀안전진단시 파악된 균열, 누수, 백화, 파손구간 확인 및 진행현황 분석	• 정밀안전진단 결과와 동일
	콘크리트 라이닝 배면공동 및 두께조사	• 육안조사 및 내시경 조사 : 터널 전연장 (L=1,622m) • GPR 탐사 : 270m • 음파탐사 : 7개소	• 터널내 확인된 천공홀을 통하여 콘크리트 라이닝 두께 및 공동 범위 파악 • GPR 및 음파탐사를 통하여 정밀 안전진단 결과의 확인 • 공동부에 대한 처리계획 수립	• 배면공동 : - 연장 : 995m - 체적 : 1,282.75m ³ • 콘크리트 라이닝 두께 - t ≤ 50cm : 52.4% • 콘크리트 품질 : 보수·보강이 필요한 D~E 등급
	변형률 측정조사	• 응력 해방법에 의한 조사 : 1개소	• 콘크리트 라이닝에 지반압 작용여부 확인	• 콘크리트 라이닝에 외부하중이 작용하지 않은 것으로 추정
	남산1호구터널 구조형식 조사	• GPR 탐사 : 2개소	• 남산1호구터널과 2호터널과의 상관관계 분석	• 남산1호구터널은 슬래브교형식으로 남산2호터널 측벽 또는 암반이 지지할 것으로 추정
옹 벽	외관조사	• 육안조사 : 옹벽전연장	• 옹벽 전면에 대한 균열, 누수, 파손, 이상부위 등에 대한 조사전개도를 통하여 보수·보강범위 및 방법 계획	• 전반적으로 옹벽 하면의 밀림 현상이나 상부의 기울어짐 현상은 없음 • 종점측 좌측벽은 누수가 심하여 표면이 부식된 상태
	강도조사	• 반발경도법에 의한 강도조사 : 14개소	• 콘크리트의 압축강도를 측정하여 구조물의 내구성을 확인	• 강도는 270-320kg/cm ² 으로 설계강도 이상
	균열깊이	• 초음파 탐사 : 2개소	• 균열의 깊이 및 진행정도를 측정하여 보수범위 및 보수방법 계획	• 균열깊이는 5-6cm로 마감재까지 발달
	배면공동, 두께 및 콘크리트 상태 조사	• GPR 탐사 : 161m	• 옹벽 두께, 배면공동, 철근유무 및 콘크리트 상태분석을 통한 구조물의 내구성 평가	• 종점측 옹벽은 철근이 배근됨
	콘크리트 상태 조사	• 음파탐사 : 4개소	• GPR 탐사결과에의 보안을 목적으로 시행	• 콘크리트 품질 : 표면은 보수·보강을 요하는 D~E 등급

수공사는 선형은 그대로 두고 폭원을 확장하거나 문제되는 구조물 부분만 국부적으로 개수하는 수준이다. 선형의 대폭적인 조정이 필요하다면 시·중점의 접속조건은 물론이고 시공상의 안전성 및 경제성을 분석하여 그 효과를 검토하여야 한다.

남산2호터널의 경우는 시·중점이 고정되어 있

고 평면 및 종단선형도 설계속도에 적합한 도로의 기하구조 기준을 만족하고 있기 때문에 근본적인 선형의 개량은 필요하지 않지만 남산1호구터널 교차구간의 높이가 약 4.34m(〈그림 2.2〉참조)에 지나지 않아 건축한계고 확보를 위한 종단선형 조정이 필요하다.



〈그림 4.2〉 남산1호터널 교차부의 형상

중단선형의 조정은 남산1호구터널과의 교차지점을 중심으로 시점쪽과 종점쪽으로 범위를 정하였고 연장은 총 470m정도가 적합할 것으로 판단되었다. 건축한계고 확보를 위한 교차지점의 중단고 조정도 남산1호신터널의 토피가 크지 않아 아주 제한적으로 0.5m정도 밖에 낮출 수가 없었다. 이러한 중단선형의 조정은 터널의 높이상 변단면을 발생시키게 되기 때문에 콘크리트 라이닝 시공시 특별한 조치를 강구하지 않는 이상 거푸집제작과 운용이 대단히 어렵게 된다. 더욱이 교차부 하부의 굴착방법도 신중하게 선택하여야 한다. 따라서 이 구간에 대해서는 터널의 중앙부 굴착전에 중단선형 조정구간 콘크리트 라이닝 기초부분(터널높이 변경부분)을 먼저 굴착하고 높이증가 부분에 대해 미리 콘크리트 라이닝을 시공하도록 함으로써 동일한 단면의 강재거푸집을 사용할 수 있도록 하였다(〈그림 4.2〉참조).

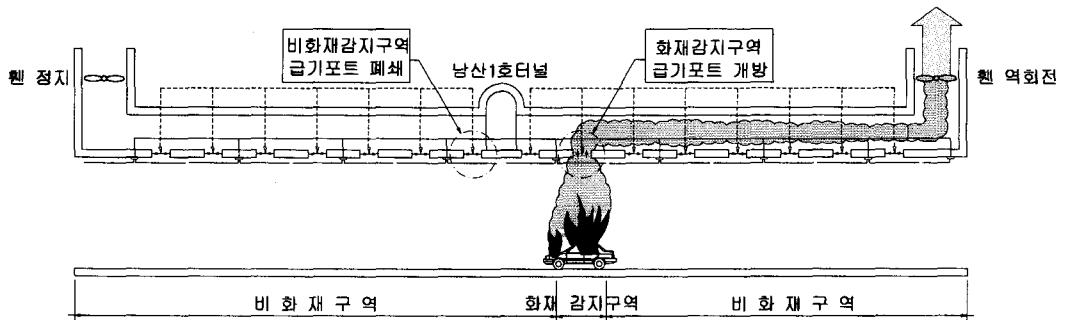
즉, 콘크리트 라이닝의 시공이 완료된 후에 터널 바닥 중앙부를 굴착하도록 하는 시공순서를 적용하였다. 특히 환기덕트 슬래브의 지점인 콘크리트 라이닝 돌출부의 위치를 하부로 점진적으로 낮추어서 변경시키면 남산1호구터널의 바닥슬래브를 환기덕트 슬래브 하부로 튀어나오지 않도록한채

환기덕트 바닥슬래브와 스므스하게 일치시킬 수 있다. 이렇게 하게 될 경우에는 콘크리트 라이닝의 슬래브 고정지점의 위치는 긴연장 구간에서 계속적으로 조정해 주어야 하기 때문에 강재거푸집의 운용 및 시공상 대단히 바람직하지 못하다. 또한 두 터널은 사각으로 교차하기 때문에(교차각 약 70°) 교차부 전후의 일부 환기덕트 슬래브는 다른 구간의 슬래브와 다른 형태의 덕트슬래브가 되지 않으면 구조 및 시공측면에서 어려움을 피할 수 없게 된다. 이러한 시공상의 어려움은 양질의 품질확보를 어렵게 하게 될 원인이 된다.

4.2.2 폭원계획

터널 개수공사는 제한된 조건하에서 설계기준을 만족시켜야 한다. 경우에 따라서는 건설 당시의 설계기준이 개수공사 당시의 설계기준과 다르게 되는 경우도 있어서 개수시점의 기준을 만족시킬 수가 없는 경우도 발생할 수가 있을 것이다. 그러므로 새로운 기준을 만족할 수 있는지에 대한 사전 검토가 필요하다.

남산2호터널은 서울 도심과 강남권을 연결하는 도로터널로 왕복 2차선임을 감안할 때 별도의 터널을 시공하여 2차선 병렬터널로 시공하면 전면개



〈그림 4.3〉 화재시험 계획

수에 따른 교통의 전면통제를 피할 수 있을 것으로 판단되었으나 시점과 종점측 도로의 연결 형편상 병렬터널로의 변경은 불합리한 대안으로 평가되었다. 다음의 대안으로는 현행 2차선을 3차선으로 확장하여 교통량에 따라 1차선을 가변차선으로 활용하고자 하는 안도 검토되었으나 1호터널과 교차부의 터널안정성 확보 문제와 1호터널 교통통제문제를 극복하기 어려워 현실적인 대안이 될 수 없는 것으로 평가되었다. 따라서 기존터널 단면을 최대한 활용하여 터널의 폭원을 확보하는데 주력하였다. 특히 재래식 터널공법으로 건설되어 여굴이 크게 발생되어 있을 것으로 예상되기 때문에 터널단면 계획시 지반 조건에 따라 여굴 정도를 반영하여 가능한 한 넓은 터널 폭원을 확보하도록 하였다.

4.2.3 환기계획

남산2호터널의 개수공사에서 신중하게 다루어져야 할 부분 중의 하나는 터널 환기상태의 개선이다. 이는 터널건설 이후 교통량의 증가, 차종의 변화, 터널 환기기술의 발전 등을 수용하여야 하기 때문이다. 남산2호터널과 같이 대면교통의 험프(Hump) 형상을 가진 반횡류식 송기형 환기방식의 경우 터널중앙부에 오염된 공기가 집적되는 환기상의 문제점을 가지게 된다. 이러한 문제점을 해소할 수 있는 효율적인 환기방식으로는 횡류식과 터널중앙부에 수직갱을 건설하는 집중배기방식을

들 수 있다.

횡류식으로의 변경은 터널의 전반적인 추가 굴착으로 공사기간을 장기화시키므로 시민불편을 가중시키는 결과를 초래하게 되어 도심지 터널인 남산2호터널에는 적합하지 않은 것으로 평가되었다. 대안으로 장충동 사갱을 이용한 집중배기형 환기방식을 검토하였으나 장충동사갱 지상출구부가 남산의 공원녹지지역내에 위치하게 되고, 인접하여 국립극장이 있어서 부지확보상의 어려움 및 민원 발생 등이 예상되어 사갱을 환기터널로 활용하는 것은 어려운 것으로 평가되었다. 다른 대안으로 종류식 대배기구 집중배기를 검토하였으나 자동제어 기술 측면에서 교통상황 변동시 압력평형점의 선정에 의한 배기 댐퍼 가동이 곤란하여 불합리한 것으로 평가되었다.

여러 가지 대안에 대한 검토결과 주어진 여건 또는 기술수준을 극복할 수 없는 점을 감안하여 현 환기방식인 반횡류식 송기형을 채택하였으며, 반횡류식 송기형의 문제점을 해소하기 위하여 교통량에 따른 자동제어가 가능한 대형 전동댐퍼(4×2m)를 100m 간격으로 계획하였다. 또한 환기 시 물레이션을 실시하여 환기방식의 효과를 검증하였다. 특히 터널 해체전 기존시설을 이용하여 모의 화재시험을 실시하여 실제로 터널내 화재 발생시 효과적인 운전모드를 구축할 수 있는 화재시험 계획도 수립하였다. (〈그림 4.3〉 참조)

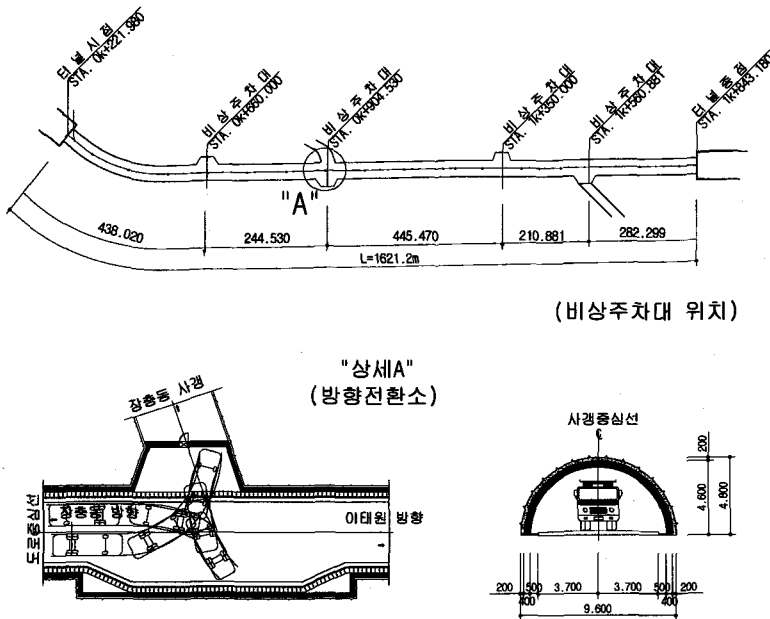
4.2.4 터널내 부대시설 계획

터널은 일반 도로와는 구별되어 상부가 폐쇄된 공간이기 때문에 교통사고나 화재사고가 발생하면 화재의 확산, 교통정체 등 중대사고로 발전할 수 있으므로 이에 대한 대비책이 필요하다. 2차선 대면교통 장대터널의 경우, 방재의 일환으로 차량의 회전을 위한 방향전환소 및 비상주차대를 일정간격으로 설치하여야 하지만 남산2호터널의 경우 이러한 비상시설들이 갖추어져 있지 않다.

남산2호터널의 경우에는 연장이 1,622m이므로 양방향에 2개소씩의 비상주차대를 설치하여야 한다. 비상주차대 설치를 위해서는 기존단면의 확장이 불가피하였다. 비상주차대 설치위치를 검토하면서 굴착한 후 오랫동안 방치해온 공사용 터널(사갱) 접속부의 기굴착된 사공간을 비상주차대로 활용하고자 하는 아이디어를 떠올릴 수 있었다는 것은 매우 기뻐할만한 일이었다. 특히 2차선 단독터널이기 때문에 병렬터널과는 다르게 횡갱이 없어서 비상시 차량의 방향전환이 불가능하게 되는데

이러한 문제도 장충동 사갱을 방향전환소로 활용하도록함으로써 해결함에 따라 일석이조의 부대시설 계획이 되도록 하였다. 비상주차대와 방향전환소 배치에 대한 개념도는 <그림 4.4>와 같다.

공사 당시 굴착한 후 방치된 장충동사갱과 이태원 사갱을 비상탈출구 또는 해체물의 적치장으로 활용하는 방안을 검토하였으나 초기투자비에 비해 이용 가치성이 없고 적치장으로 활용시의 지하환경 오염을 초래할 가능성이 있기 때문에 풍화진전에 따른 더 이상의 위험요인이 증가되지 않는 정도의 보강만을 실시하도록 하였다. 별도의 굴착을 실시하지 않기 때문에 제측 등의 계획을 수립하지는 않았다. 다만 비상시 차량이나 중장비의 진입이 용이하도록 사갱과 본터널과의 차단벽은 철근콘크리트 구조물로 하지 않고 콘크리트 블록의 벽체로 시공하도록하여 일시적 제거와 복구가 용이하게 이루어지도록 배려했다. 특히 사갱의 종점부(지상인접부)에는 사갱을 완전 폐쇄하는 철근콘크리트 구조물을 시공하여 지상 우수의 유입을 근본적으로 차단하도록 계획하였다.



<그림 4.4> 남산2호터널의 비상주차대 및 방향전환소 계획

4.3 공사시 안전성 확보방안 검토

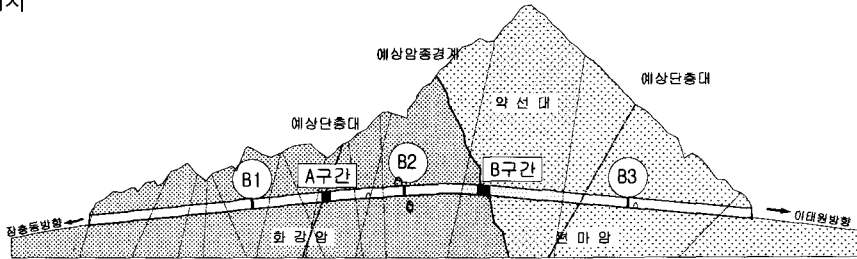
4.3.1 조사 및 시험시공 계획

차량이 통행하고 있는 터널에 대해서 콘크리트 라이닝과 지반사이 또는 굴착지반면으로부터 신선한 암반까지의 여러 가지 지반특성치의 변화 등을 콘크리트 라이닝을 제거하지 않는 상태에서 조사하여 알아내는 데는 한계가 있다. 이를 보완하기 위해서는 시공과정에서의 조사와 계획된 공법에 대한 시험시공을 실시하여야 한다. 남산2호터널과 같이 터널 모두를 단면확장 없이 전면개수하는 공사는, 필자가 알기로는, 외국에서는 좀처럼 시행하지 않는 공사이다. 또한 재래식 공법으로 건설해서 28년 동안 사용하게 되면 터널의 지보재와 주변암반이 어떻게 변화될 것인가는 합리적인 시험시공과 그 결과의 철저한 분석 없이는 알아낼 수가 없을 것이다. 따라서 적합한 시

험시공의 결과는 국내 터널기술을 한 단계 올려 놓을 수 있는 아주 중요한 기술자료가 될 것이기 때문에 이점을 간과한다면 터널분야에 종사하는 기술인들의 커다란 수치를 자초하게 될 것임이 분명하다.

남산2호터널의 콘크리트 라이닝과 굴착면 사이에는 크고 작은 공극이 형성되어 있다. 콘크리트 라이닝의 시공 특성상 공극은 터널의 천정부에 심하게 발달되어 있지만 측벽의 경우에도 공극이 있을 수 있다. 2호터널의 경우는 공극의 깊이가 0~157cm정도로 불규칙하게 발달되어 있는 것으로 조사되었으나 콘크리트 라이닝을 제거하기 전까지는 실제의 굴착면 형상을 유추하는 데에는 제약이 있다. 몇 공의 천공장비에 의해 예측된 공동의 발달상태를 마치 정확한 결과인 것처럼 취급하는 것은 경계하여야 할 부분이다. 오히려 지난 세월동안 이 공극으로 인해 풍화

◦ 시험시공위치



<그림 4.5> 시험시공위치 및 대표단면 계측(B계측) 위치

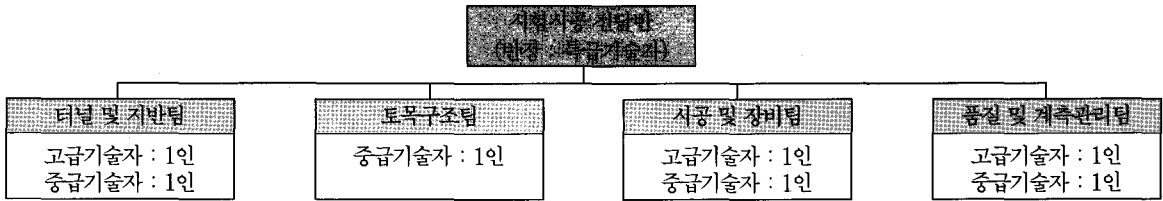
◦ 시험시공순서

단계	수행내용
1 단계	• 전구간 내부구조물 해체
2 단계	• 시험시공 A, B구간에 대한 구조물 해체 전 조사 및 시험 실시 • B 계측구간 계측기 설치 및 초기치 측정
3 단계	• 시험시공 A, B구간에 대한 구조물 해체 • B 계측 실시 및 결과분석
4 단계	• 시험시공 A, B구간에 대한 구조물 해체 후 조사 및 시험 실시 • B 계측 실시 및 결과 분석
5 단계	• 시험시공 및 B 계측 구간 구조물 해체의 구조물 거동, 시공의 난이도, 위험도 및 재반 문제점 분석 • 구조물 해체공법의 적정성 평가 및 후속시공구간 대책 수립
6 단계 (추가 시험 실시)	• 추가시험의 목적 : 시간경과에 따른 구조물의 거동특성 분석 • 추가시험의 위치 : 내부 구조물 해체후 콘크리트 라이닝의 최대 취약부 1개소

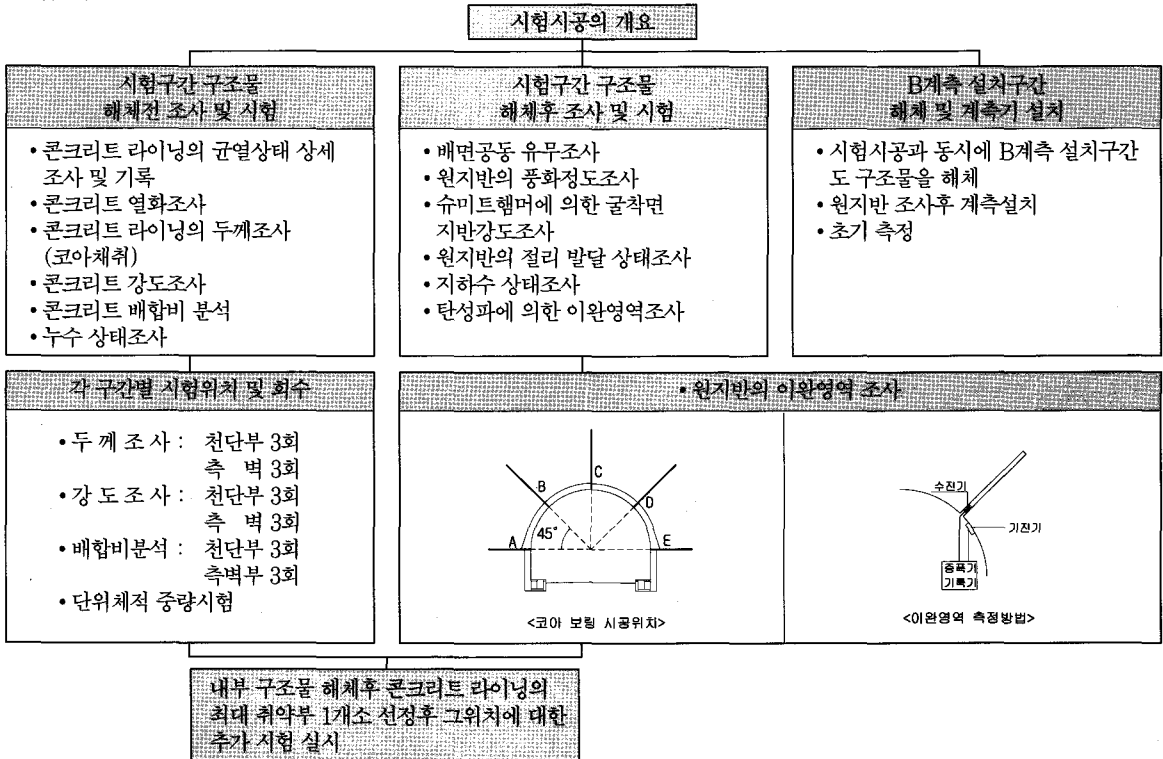
가 진행되었을 원지반의 상태와 콘크리트 라이닝 해체시 이완되어 있는 지반의 붕락 발생에 대한 대책수립이 더 중요하게 취급되어야 하고 평가되어야 할 사항임을 잊어서는 안될 것이다. 본 설계에서는 이러한 조사의 한계성과 남산2호터널 개수공사가 국내 최초의 터널 전면 개수공사라는 점을 감안하여 본격적인 공사 착수전 일부 구간에 대한 시험시공을 실시하여 시공의 난이도, 위험도, 제반 문제점을 예측함으로써 후속공사에 대한 사전대책을 수립할 수 있도록 계획

하였다. 시험시공구간은 예상 단층대 구간과 화강암과 편마암이 경계를 이룰것으로 예상되는 취약구간으로 설정하고, 해체전 조사와 해체후 조사를 수행하도록 하였으며 시험시공은 터널에 대한 전문지식 및 시공경험을 보유한 전담반이 주관하여 실시함으로써 향후 시공에 대한 대책을 사전에 수립하여 안전시공이 되도록 유도하였다. 시험시공의 내용을 개략적으로 정리하면 다음과 같다.

• 시험시공 전담반의 구성



• 시험시공의 개요



4.3.2 해체공법의 적용

남산2호터널의 주요 해체구조물은 콘크리트 라이닝 및 내부구조물, 시·중점의 갱문구조물과 중점부의 좌·우측옹벽, 관리사무소, 관리사무소와 터널을 연결하는 환기풍도 구조물 등이다. 환기풍도의 설치상 시점과 중점부에는 개착터널 구조물로 시공되어 있고 이 개착터널과 관리사무소 환기기계실과는 콘크리트합형 풍도가 설치되어 일부가 지상으로 돌출되어 있다.

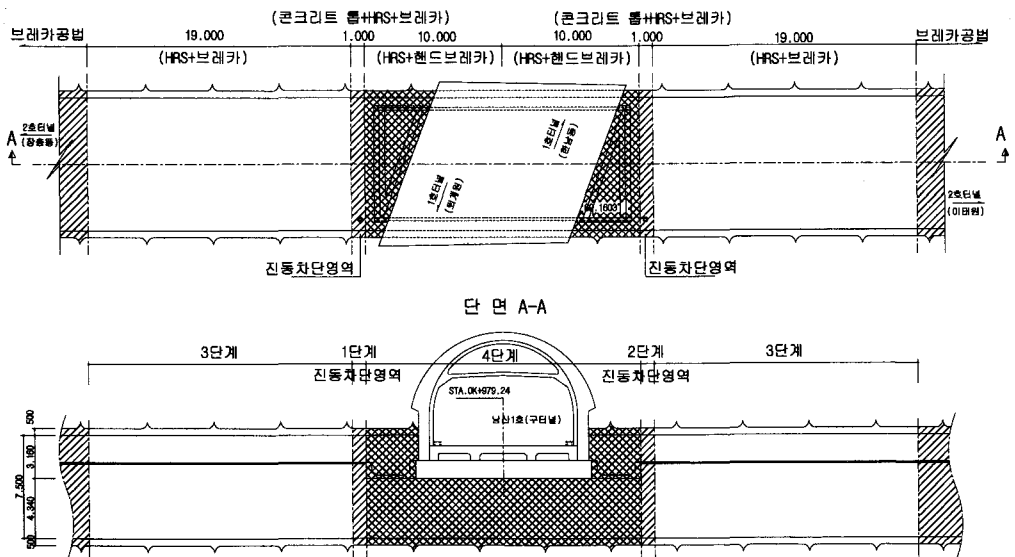
1) 터널구간

터널내의 구조물은 내부구조물과 콘크리트 라이닝으로 구분할 수 있으며 터널의 내부구조물은 외력을 받고 있는 구조물이 아니기 때문에 이를 제거함에 따른 위험문제는 없다. 따라서 시점과 중점쪽에서 대형 브레카를 이용하여 중앙부 쪽으로 신속히 해체하도록 하였다. 그러나 콘크리트 라이닝 배면, 특히 천정부에는 공극이 형성되어 있기 때문에 오랜기간 동안의 풍화로 인해 굴착면 지반이 다소 약화되거나 이완되어 콘크리트 라이닝에 하중으로

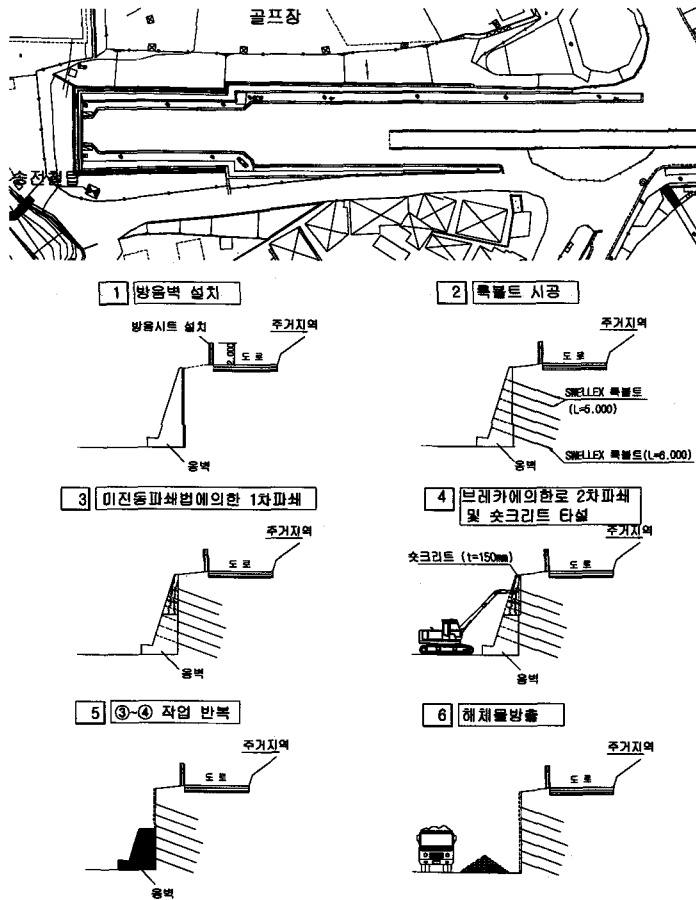
작용하고 있을 구간이 존재할 가능성이 있고 콘크리트 라이닝 해체시의 진동 등이 암괴의 붕락을 유발시킬 수 있으므로 해체공법을 신중하게 선정하여야 한다. 또한 도심지에 위치한 터널이므로 소음이 적고 작업속도가 빠른 공법을 적용하여야 한다.

일반적으로 사용되는 해체공법으로는 압쇄기 또는 대형 브레카에 의한 방법, 발파 또는 미진동 파쇄기에 의한 방법, 대형 로드헤더를 이용하는 방법, 콘크리트 톱이나 워터제트(Water Jet)를 이용하는 방법 등이 있다. 대부분의 해체공사에서는 이들 공법들을 하나 또는 둘 이상 조합하여 현장여건에 적합한 형태의 해체공법을 적용하고 있다. 콘크리트 톱이나 워터제트를 이용하는 해체공법은 진동이 적은 반면 공사기간이 많이 소요되고 발파에 의한 공법은 시공속도는 빠르지만 소음과 진동을 동반하는 공법이기에 때문에 본 남산2호터널의 해체공법으로는 부적합한 것으로 판단되었다.

남산2호터널 갱구부의 경우 주택지와 신라호텔이 인접하므로 소음발생이 적고 작업속도가 양호한 압쇄기를 적용하고, 그외 구간은 작업성이 양



(그림 4.6) 남산1호터널과 2호터널 교차부 해체공법



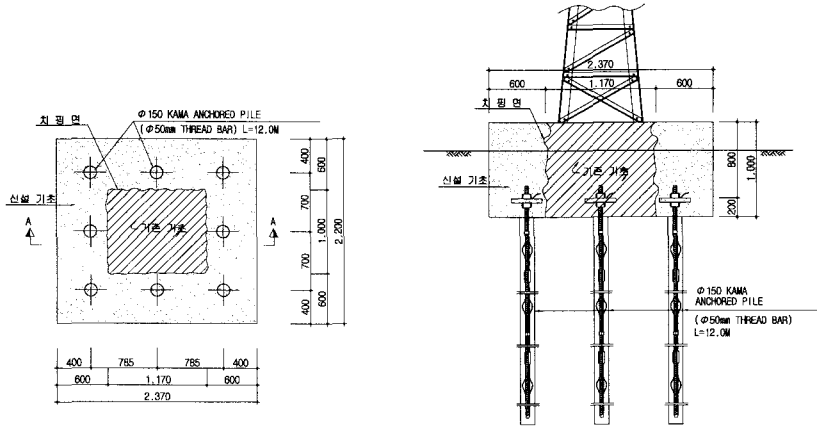
〈그림 4.7〉 종점 우측옹벽 철거 순서도

호하여 공사기간을 단축할 수 있는 대형 브레이크에 의한 해체공법을 계획하였다. 특히 남산1호구터널 교차구간의 경우 남산2호터널과의 연결구조형식 등이 파악되지 않은 상태이어서 남산2호터널 콘크리트 라이닝 해체시 충격 등이 남산1호구터널에 전달될 경우 구조물의 안전에 영향을 미칠 수가 있다. 이를 고려하여 해체시 진동의 영향이 남산1호구터널에 전달되는 것을 방지하기 위하여 남산1호구터널 전후 각 1.0m 구간을 콘크리트 톱으로 선 해체하여 콘크리트 라이닝 해체시의 진동 차단영역을 형성시킨 후 중심선의 교차점 전후 30m씩 60m 구간을 미진동파쇄기(HRS)로 해체

하도록 하였다. (〈그림 4.6〉 참조)

2) 옹벽구간

종점부(이태원쪽) 옹벽구간에는 주택과 골프연습장이 옹벽과 인접해 있기 때문에 (〈그림 4.7〉 참조) 이들에 대한 영향이 최소화 되는 옹벽철거공법을 선정하여야 한다. 또한, 종점부 우측옹벽부에 위치한 송전탑 보강공법도 수립하여야 한다. 무엇보다도 현장여건상 대형장비의 접근이 어렵기 때문에 엄지말뚝에 의한 가시설 공법은 적용하기 어려운 실정이다. 특히, 우측옹벽과 주택지역 사이는 폭이 좁은 도로이기 때문에 옹벽제거시에도 도로



〈그림 4.8〉 송전탑 보강계획

기능을 유지시킬 수 있는 철거공법을 적용하여야 한다. 이를 위하여 옹벽철거전에 소일네일링(Soil Nailing)공법을 적용하여 옹벽배면 도로부분을 보강한 후 옹벽을 상부로부터 철거하며 옹벽철거부를 숏크리트로 보강하도록 하여 도로의 기능을 유지시키도록 하였다. 옹벽철거는 소음·진동의 발생을 최소화 할 수 있도록 미진동파쇄기(HRS)로 해제하도록 하였으며 소일네일링은 스웰렉스(Swellex) 록볼트를 사용하여 옹벽해체시 절단 및 제거가 용이하도록 하였다. 옹벽철거 순서도는 〈그림 4.7〉과 같다.

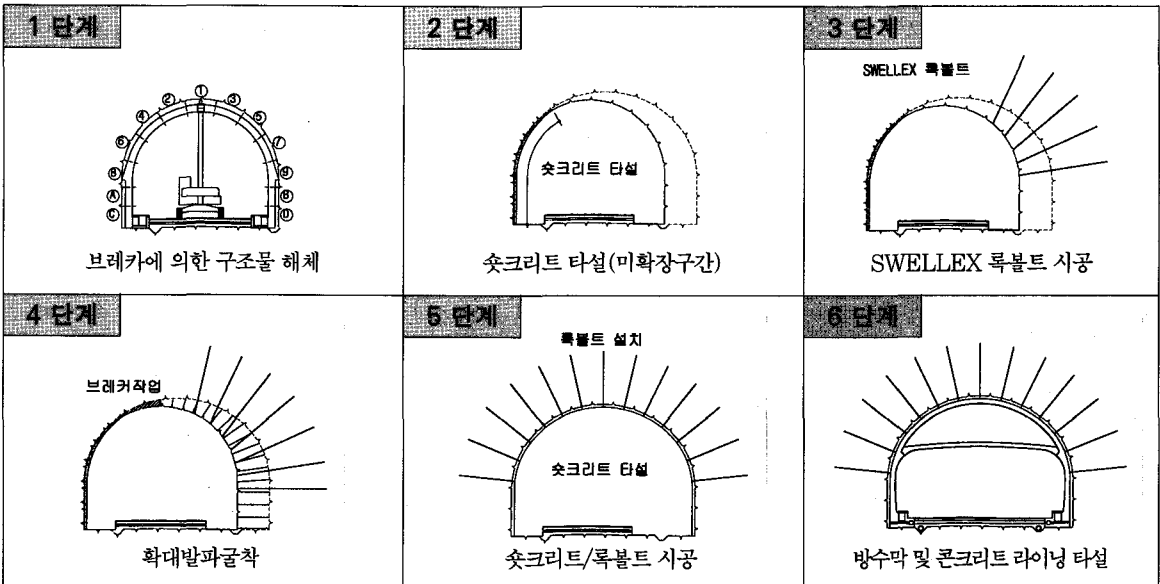
그러나 옹벽의 높이가 높은 갭문인접구간에는 도로와 옹벽사이에 녹지가 형성되어 있어서 굴착사면을 형성하면서 옹벽을 철거하도록 하였다. 송전탑에 대해서는 기초부를 H-형 엄지말뚝을 설치하여 보강하는 방안이 좋은 보강방법이 될 것으로 판단되었지만 장비의 접근이 불가능하여 기초부를 철근콘크리트로 보강하고 보강된 콘크리트 하부를 앵커로 지지하도록 하였다. 보강공법은 〈그림 4.8〉과 같이 수립하였다.

3) 계측계획

터널시공시의 계측은 일상관리계측(A계측)과 대표단면계측(B계측)으로 구분하여 실시하게 된

다. 이 계측들은 모두 터널의 안전성 여부의 확인과 경제성 추구를 위해 실시되고 있지만 중점관리 목표측면에서 그 역할을 구분해 본다면 일상관리 계측은 시공시의 직접적인 안전관리를, 대표단면 계측은 설계된 지보재들의 효과를 확인하고 기술 축적을 위한 종합적인 자료집적이 더 강조되어 실시되고 있다고 할 수 있다.

본 개수터널의 시공을 위한 계측계획은 신설터널의 경우와는 다른 개념으로 수립되어야 한다. 시공 당시 굴착에 따른 응력해방영향이 어떠한 형태로든지 안정되어 있을 것이고 NATM터널의 경우와는 다르게 터널의 지보재에 의해서 변형이 구속되면서 안정상태에 달하지 않았을 것이기 때문이다. 그러나 오랜 기간 동안 풍화의 진행이나 지반이완의 영향으로 일부 지반압이 라이닝에 의해 지탱되고 그 이유로 인해 지반이 안정상태를 유지하고 있을 것에 대비하여 계측계획을 수립하여야 한다. 따라서 시험시공구간의 지반조건을 조사한 후 그 구간에 일상계측과 대표단면 계측위치를 정하고 계측기기를 설치하여 추가의 구조물 제거시의 지반거동을 관찰하도록 하였다. 대표단면 계측위치는 비상주차대 구간과 같이 추가의 지반굴착이 요구되는 구간을 중심으로 선정하도록 하는 것이 바람직하다. 그러나 전 연장에 걸쳐 3개소 이상의



〈그림 4.9〉 비상주차대 시공계획도

대표단면계측은 불필요할 것으로 판단된다(〈그림 4.5〉참조). 특히 사갱에는 보강 이외의 굴착행위가 없기 때문에 특별한 계측계획이 필요하지 않다. 아울러 남산1호구터널과 교차부에는 별도의 계측계획의 수립이 필요하다. 계측의 시행에 있어서는 초기치의 조기측정과 신속하고 정확한 측정과 분석이 요구된다.

4) 비상주차대 확대굴착 방안

비상주차대 설치위치는 단면을 편측방으로 확장하여야 한다. 안전성 증진을 위하여 마찰형 록볼트(Swellex Rock Bolt)를 먼저 시공하고 발파에 의한 굴착으로 확장해 나가되 비상주차대의 중앙부에 터널벽면의 직각방향으로 심빼기 형태의 발파를 실시하고 좌우로 확장해 나가는 굴착방법이 유효할 것으로 판단되었다. 진동이나 소음을 줄이기 위하여 지발당약량을 극히 제한하고 여러차례의 분할발파를 실시하도록 하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다. 굴착과정은 〈그림 4.9〉에 요약되어 있다.

5) 해석적 검증

해석적인 기법은 가해진 공사행위에 따른 제반 문제점들을 예측해 보는 좋은 기법 중의 하나이다. 그러나 그 결과에 너무 의존하여 모든 것을 결정하는 것은 매우 바람직하지 못하다. 그 이유로서 두 가지만 언급한다면 첫째로는 실제지반의 정확한 현황 파악이 어렵고, 조사된 지반의 특성치들에 대한 신뢰도가 떨어 질 수 있다는 점이고 둘째 이유는 해석기법(해석프로그램)자체의 특성상 실제의 거동을 모사하는데에는 한계가 있다는 점을 들 수 있다.

본 남산2호터널은 재래식 공법으로 시공되어 장기간 동안 사용되어온 터널이기 때문에 터널의 지보재(콘크리트 라이닝)가 굴착당시 지반을 지탱하도록 설계되고 시공하지 않는 이상 콘크리트 라이닝에는 지반압이 작용하지 않을 것이므로 콘크리트 라이닝의 제거에 따른 추가 지반거동을 해석적인 검증으로 유추해 낸다는 것은 큰 의미가 없게 된다. 특히 내진 검증이라던가 진동에 의한 구조물 문제를 본 개수공사의 심각한 공학적 문제로 취급

한다는 것은 우스꽝스러운 일 중의 하나가 될 것이다. 다만 사용연동안 지반의 이완에 따른 하중을 콘크리트 라이닝이 지탱하고 있다면 콘크리트 라이닝을 제거하게 될 때 안전의 문제가 일어날 수 있으므로 이에 대한 검토는 필요하다고 하겠다. 따라서 현재의 콘크리트 라이닝에 작용하고 있는 응력이 어느 정도 되는 것인가를 측정할 수 있다면 콘크리트 라이닝 제거에 상응하는 하중을 반영함으로써 콘크리트 라이닝 제거에 따른 터널의 안정성을 해석적인 방법으로 유추해 낼 수 있다. 이것의 일환으로 오버코어링 기법을 사용하여 콘크리트 라이닝의 응력을 측정해 보았다. 콘크리트 응력 측정은 환기덕트 내부에서 남산1호구터널을 지탱하고 있을 것으로 추정되는 콘크리트 라이닝 부근에서 실시하였으나 현재의 콘크리트 라이닝에는 외력이 작용하고 있지 않는 것으로 판단되었다. 이 결과는 3차 정밀안전진단 결과의 결론과 같다. 사용중인 터널이고 장비접근이 불가능하여 콘크리트 라이닝 하부의 측벽에 대한 응력측정은 불가능하였다. 따라서 교통이 전면 통제되고 전력공급이 가능한 조건에서 남산1호터널 교차부 콘크리트 라이닝 해체전에 이 부분에 대한 응력측정을 실시한다면 남산1호구터널의 안전성을 확보하는데 좋은 자료로 사용할 수 있을 것이다.

실제 해석적인 검증에서는 굴착하중의 약 20% 정도를 콘크리트 라이닝이 지지하는 것으로 조사되었다는 문헌조사 결과를 참조하여 콘크리트 라이닝 제거에 따른 영향을 예측해 보았으나 콘크리

트 라이닝 제거에 의한 터널의 안전성 위해요인은 없는 것으로 판단되었다. 이 방법은 보수적인 방법이므로 실제 시공데이터를 참조하여 향후 개수설계에 적용할 수 있는 자료를 획득하도록 하여야 할 것이다.

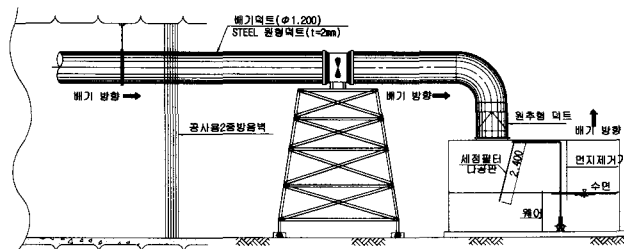
4.4 주변 환경과 시설물에 미치는 영향 검토

4.4.1 분진대책

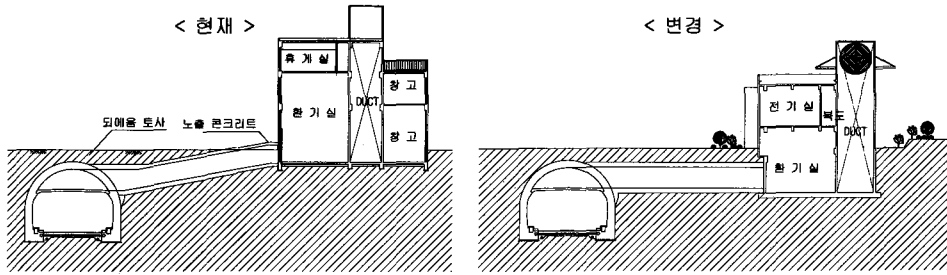
오래된 콘크리트 구조물을 터널과 같이 폐쇄된 공간에서 해체하는 경우에는 다량의 분진이 발생하게 되므로 작업원들이 작업할 수 있을 정도의 작업환경 조성 및 분진의 배출에 따른 주민들의 생활불편을 해소하기 위한 분진대책을 수립하여야 한다. 남산2호터널의 경우는 구조물해체부와 터널입구에 분진차폐막을 설치하고 오염된 공기를 여과장치(물분사집진설비)를 통과시켜 대기중에 방출하도록 하였다. <그림 4.10>는 분진을 제거하는 설비계획이다.

4.4.2 진동 및 소음대책

도심지 터널 개수공사의 경우 구조물 해체시 발생하는 소음은 민원을 야기시킬 수 있으므로 진동 및 소음으로 인한 민원이 발생되지 않는 공법 또는 대책을 수립하여야 한다. 남산2호터널 구간의 경우는 갱구부에 소음 차단용 방음벽을 설치하고 갱구부로부터 50m구간은 압쇄기에 의한 해체공법을, 옹벽구간에 대해서는 유압장비를 이용한 미진동 파쇄공법을 적용하여 공사중 소음으로 인한 민원이 발생되지 않도록 하였다.



<그림 4.10> 분진흡수 장치도



<그림 4.11> 시점측 관리사무소 지하화 계획도

4.4.3 관리사무소 계획

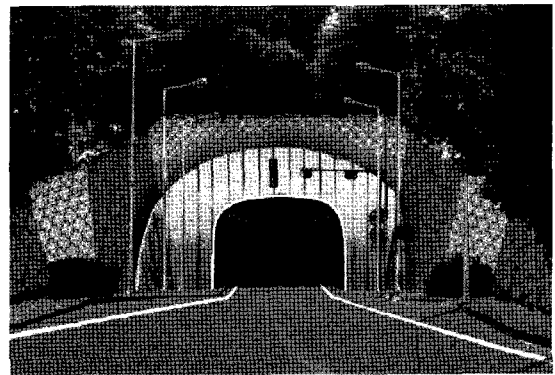
개수공사 뿐만 아니라 모든 터널공사의 경우 터널 건설에 따른 자연경관 훼손범위를 최소화하고 자연 경관이 원상태로 복원될 수 있도록 노력하여야 한다. 특히 남산의 경우는 남산살리기 운동의 일환으로 외국인 아파트 등을 철거하여 원상복구를 추구한 점을 감안하여 공원녹지 내부에 또 하나의 거대한 건축물을 짓는 관리사무소 계획은 반드시 지양하여야 한다. 즉, 공원속에 튀어나지 않게 묻혀 있는 구조물 계획이 되어야 한다. 색깔과 조형미에 있어서도 결코 두드러지지 않으면서도 쾌적한 관리사무소 계획이 되도록 하여야 한다.

현재의 관리사무소는 낙후되어 있을 뿐만 아니라 지상돌출부가 높고 형식에 있어서도 시각적인 부담감을 주고 있다. 환기덕트로 연결되는 풍도도 경사로 되어 있으며 지상에 돌출되어 있는 실정이다. 따라서 신설되는 관리사무소 구조물은 1층을 지하화 하여서 풍도의 연결을 양호하게 개선함과 동시에 지상에 노출되는 관리사무소의 층수를 1층으로 계획하도록 하였다. 또한 건물 외부 형식에 곡선을 많이 사용하고 주위와 조화되는 외장계획을 함으로써 새로운 경관 유해요인을 만들지 않도록 하였다. 이에 대한 단면도는 <그림 4.11>과 같다.

4.4.4 옹벽 및 갱문의 미관계획

옹벽과 갱문은 터널구조물과 동시에 시공되는 구조물이기 때문에 터널개수시 이 구조물들도 개수하는 것이 바람직하다. 만약 옹벽을 개수하지 않게 된다면 나

중에 옹벽을 추가로 개수하게 될 경우와 같은 불편감 재요인이 남아 있게 되기 때문이다. 본 개수공사시에 시점측 옹벽은 보수만 하도록 되어 있기 때문에 개수공사가 완료된 후 구조물 수명상 시점옹벽에 문제가 먼저 발생할 것이므로 이의 보수시 시민을 다시 불편하게 할 수 있는 잠재력을 가지고 있다고 보아야 한다. 이러한 측면에서 보면 시점옹벽구간을 이번 개수공사에 포함하는 것이 더 합리적인 것이 될 지도 모른다. 갱문과 옹벽의 미관에 있어서는 첫째로 단순한 구조형식이 되어야 하고, 둘째로 통행자에게 중압감을 주지 않아야 하며, 셋째로 주변경관과 잘 조화되도록 하여야 한다. 즉, 옹벽이나 갱문구조물은 단순하면서도 우아한 모습을 유지하도록 하여야 한다. 화려한 구조물이 되는 것은 결코 바람직하지 못하다. 따라서 갱문은 앞면에 평면을 피하고 약간 불룩한 구조가 되도록 하였고 옹벽의 마감은 자연석 느낌을 주는 문양을 계획하였다. 이에 대한 조감도는 <그림 4.12>와 같다.



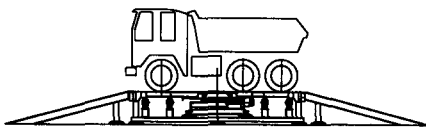
<그림 4.12> 갱문과 옹벽의 조감도

4.5 공사기간 단축방안 검토

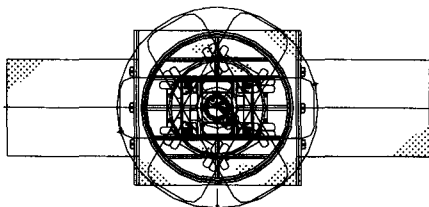
남산2호터널의 개수공사는 공사기간동안 교통통행을 전면적으로 폐쇄하여야 하므로 이로 인한 시민불편을 최소화하기 위하여, 터널의 안전성 확보도 필요하지만, 공사기간 단축에 최선의 노력을 기울여야 한다. 시민불편을 다소 경감시킬 수 있는 방안으로는 교통을 소통시키며 공사를 수행하는 방안을 검토할 수가 있으나 본 공사의 경우에는 오히려 공사기간의 장기화를 초래하기 때문에 바람직하지 않다. 본 공사에서는 전면적인 추가 굴착공정이 없기 때문에 터널구조물 해체, 지보재 설치, 방수공 및 콘크리트 라이닝 시공 등 일련의 작업이 병행되도록 공사계획을 수립할 수 있다면 공사기간 단축이 가능하다.

그러나 이러한 일련의 작업들이 2차선의 협소한 공간 속에서 이루어져야 하기 때문에 장비회전상의 어려움 및 작업효율의 저하 등으로 공사기간의 장기화를 초래할 수 있다. 따라서 공사기간 단축을 위해서는 공정계획 뿐만 아니라 특수장비의 활용 방안 등을 검토하여야 한다.

측면도



평면도



〈그림 4.13〉 장비회전용 턴테이블 개념도

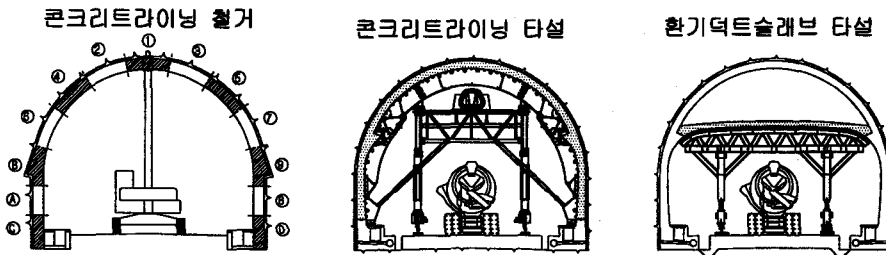
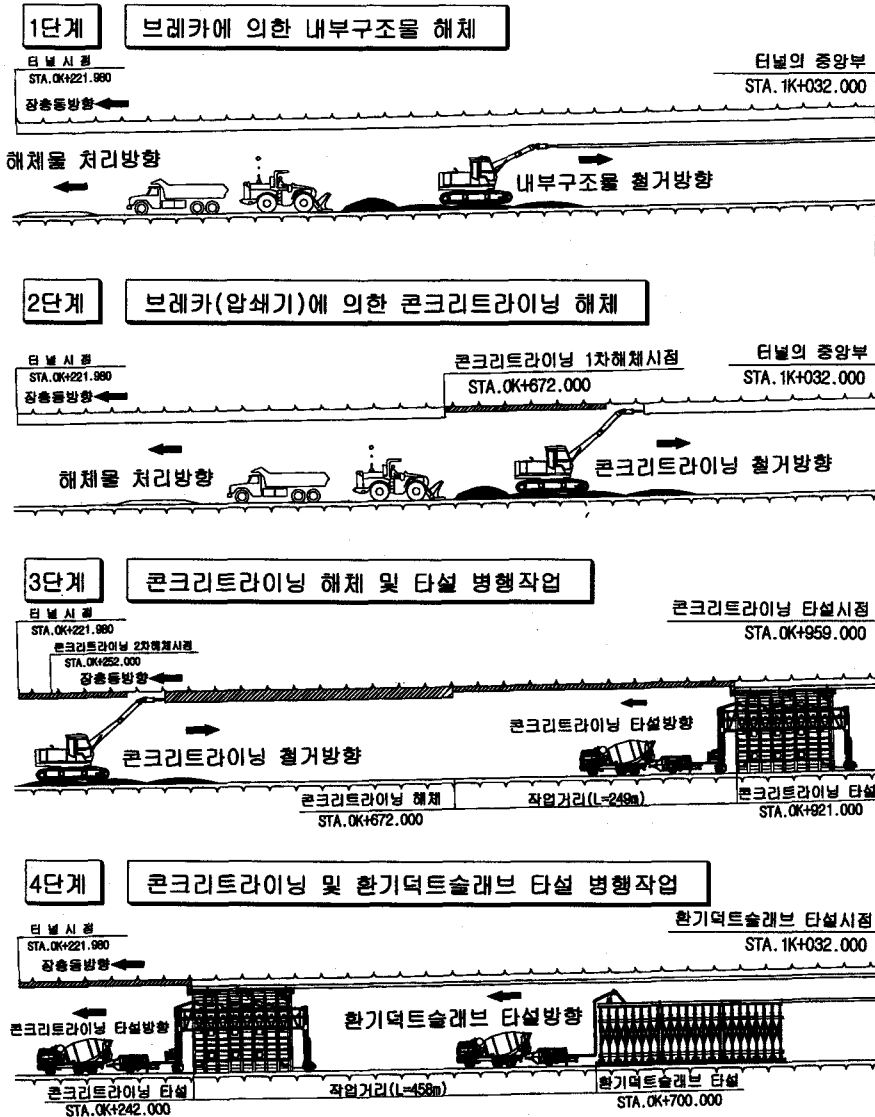
4.5.1 구조물 해체 순서에 의한 공기단축

구조물의 해체와 신설구조물의 시공을 병행함으로써 공사기간을 단축할 수 있다. 이것을 위해서 터널 중앙부의 콘크리트 라이닝을 먼저 해체하고 터널의 시점과 종점쪽으로 계속 해체해 나아가는 동안 신설 콘크리트 라이닝 구조물을 중앙부에서 터널의 입구 쪽으로 시공하도록 계획하였다. 따라서 강재거푸집은 장비의 통행이 가능한 구조가 되도록 함과 동시에 터널내에서 작업차량의 회전이 가능한 턴테이블(Turn Table)을 적용하도록 하였다. 시공순서는 〈그림 4.14〉와 같으며 터널내부의 덤프트럭 회전 턴테이블의 개념도는 〈그림 4.13〉과 같다.

4.5.2 신설 구조물 시공법에 의한 공기단축

공기를 단축할 수 있는 최선의 방법은 신설되는 콘크리트 라이닝 구조물을 프리캐스트 세그먼트 구조물로 시공하는 방법이다. 노르웨이에서 프리캐스트 세그먼트 라이닝을 적용한 사례도 있고 국내에서도 연구보고서가 발간되어 있기는 하지만 본 남산2호터널의 경우에는 다음에 언급한 몇가지 문제점들이 있기 때문에 프리캐스트 세그먼트 라이닝 적용이 어렵다.

- 1) 노르웨이에서 적용하였던 프리캐스트 세그먼트 라이닝 시스템은 콘크리트 라이닝의 역할에 대한 개념이 국내의 그것과 다르고 배수처리 방식도 국내의 배수처리 방식과 다르다.
- 2) 남산2호터널은 장대터널이기 때문에 환기덕트가 필요하며 환기덕트 연결부를 포함하고 환기덕트 슬래브를 지탱할 수 있는 라이닝 구조를 조립식으로 구축하는데 어려움이 있다.
- 3) 시·종점부 개착터널부와 남산1호구터널과의 교차부는 현장타설 콘크리트 라이닝을 시공하여야 하기 때문에 구조물의 일체성을 해치게 된다.
- 4) 비상주차대 및 사갱과의 접속부 등 변단면 구간 시공이 어렵다. 특히 종단선형개량구간의



〈그림 4.14〉 시공순서도

라이닝 시공이 매우 어렵다.

- 5) 국내 시공실적이 없을 뿐만 아니라 시공상(조립 시) 문제가 발생할 경우에는 현장타설 콘크리트 공법보다 공기가 더 연장될 가능성이 있다.

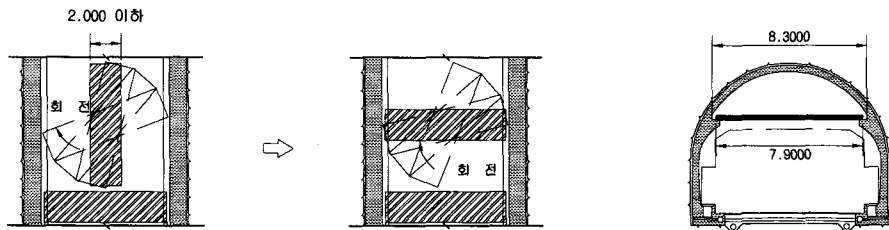
상기의 이유로 인하여 프리캐스트 콘크리트 라이닝은 채택할 수 없었다. 그러나 환기덕트 슬래브는 프리캐스트 판넬로 시공할 수 있을 것이라는 점을 착안하여 이에 대한 면밀한 시공성을 검토하였다. 프리캐스트 판넬은 폭에 비해서 길이가 길고 두께가 얇은 형상을 가지게 되고 송기구가 뚫린 판넬을 일정한 간격으로 배치하여야 한다. 이것은 바로 터널과 같이 협소한 공간 내에서 판넬의 이동과 거치가 용이하지 않음을 단적으로 시사해 주고 있다. 일반구간에서 판넬의 두께는 20cm 정도이고 길이가 약 8m 정도이기 때문에 거치상 잘못하면 판넬자체에 구조적인 결함을 갖게 되는 치명적인 문제를 야기하게 된다. 더욱이 확폭된 비상주차대구간에는 판넬의 길이가 무려 11m 정도 되어야 하기 때문에 중앙부를 턴버클 등을 사용하여 콘크리트 라이닝 천정부에 매달지 않으면 판넬시공은 불가능하다.

상부가 폐쇄된 터널의 내부에서 이러한 판넬공법 적용은 시공측면에서 아주 불리하다고 분석하였다. 판넬의 이동상의 어려움은 쉽게 짐작할 수 있기 때문에 거치상의 어려움에 대해서 다시 살펴보면 다음과 같다. 판넬의 길이는 판넬지점간의 간격보다 길고 지점부 상부에 공간여유가 없기 때문에 판넬의 길이방향을 터널중방향과 일치하도록하여 판넬을 거치지점까지 들어올린 다음 90° 회전하여 거치하여야 한다.

(〈그림 4.15〉 참조) 이 작업을 위한 특수장비가 필요하다. 여기에서 구조물의 유지관리와 안정성 확보차원에서 프리캐스트 슬래브의 단부는 충분한 걸쳐짐 여유를 갖도록 하여야 함을 간과해서는 안된다. 또한 판넬간의 밀폐성 유지와 개구부 판넬의 구조적 취약점에 대해서도 보강은 물론 시공시 손상 방지에도 각별한 주의가 요구된다.

무엇보다도 마지막 거치구간에서 판넬길이만큼의 슬래브는 현장타설 슬래브를 시공하여야 한다. 특히 4개소의 비상주차대의 긴 판넬시공상의 문제와 2개소의 사갱접속부 시공문제 그리고 남산1호구터널과의 접속부 부근의 시공상의 어려움과 구조물의 일체성 확보상의 문제 등으로 인해 자칫 최초의 콘크리트 판넬슬래브를 교체하였던 작업(1976년의 경우)을 되풀이 할 가능성이 있기 때문에 프리캐스트 슬래브의 시공을 지양하였다. 또한 유지관리의 주요 지향사항인 구조물의 단순성 확보면에서도 불리하여 콘크리트 판넬 슬래브를 채택할 수 없었다. 아울러 경제성, 시공성, 공기단축 측면에서도 프리캐스트 판넬시공의 잇점은 없는 것으로 분석되었다.

다각적인 검토를 통하여 시공장비의 적절한 조합과 효율적인 공정계획안만 수립한다면 현장타설 콘크리트 타설공법을 채택하여도 예정 공기보다 약 3개월 정도 단축할 수 있고 유지관리가 용이한 구조물을 시공할 수 있을 것으로 확신하게 되었다. 살수설비를 활용하여 새로이 타설된 콘크리트의 습윤양생을 실시하여 건조수축에 의한 균열발생을 줄이도록 계획하였다. 콘크리트 라이닝 해체 후 슛크리트를 타설하는 과정에서는 시공성을 감안하여 격자지보재



〈그림 4.15〉 환기덕트의 프리캐스트 슬래브 시공 개념도

(Lattice Girder)를 적용하였다. 격자지보재의 강성이 H-형 강지보재 보다 적은 점을 감안하여 갱구부 일정구간은 H-형 강지보재를 사용하도록 하였다.

4.6 해체된 구조물의 재활용 방안 강구

터널의 개수공사시 기존 구조물의 해체작업으로 부터 다량의 건설폐기물이 발생되며 건설폐기물의 종류로는 크게 콘크리트, 아스콘, 굴착암 등이 있다. 이러한 폐기물은 처리비용도 고가이기 때문에 가능한 한 재활용하도록 하여 자원낭비를 방지하도록 하는 것이 바람직하다. 폐 콘크리트는 옹벽구조물의 뒤채움재, 도로의 성토재, 도로포장용 골재(보조기층, 선택층)로, 아스콘은 공사용 도로포장재로, 굴착암은 포장용 골재 또는 옹벽구조물의 뒤채움재 등에 재활용이 가능할 것이다. 본 설계에서는 현장내에 골재 생산용 크라샤를 설치하여 폐 콘크리트 중 무근콘트리트만을 선별하여 도로 포장용 골재를 생산한 후 공사현장과 인접한 가양대교 복단 연결도로 공사의 보조기층 및 선택층용 골재로 재활용하는 방안을 수립하였다.

4.7 유지관리

개수공사 후 완성된 구조물에 대해서는 체계적인 유지관리를 수행하여야 한다. 모든 유지관리는 초기 단계에서 부터 체계적으로 이루어져야 하며 체계적인 유지관리는 구조물의 수명을 연장할 수 있을 것이다. 인력에 의한 유지관리는 비효율적이며 주관적으로 평가될 수 있고 자료관리도 어려워 지속적인 많은 문제점을 야기시키게 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 콘크리트 라이닝의 균열, 지하수 유입, 배면공동 여부 등을 정확하고 신속하게 파악할 수 있으며, 이러한 자료를 디지털 정보로 변환하여 컴퓨터로 분석·평가할 수 있도록 하는 TS 360 장비를 이용한 자료의 전산화 방안을 계획하였다.

TS 360 장비를 이용한 주기적인 터널점검을 통한 자료의 전산화로 이전의 터널 상태와의 비교 분석을 수행하여 터널의 철저한 유지관리가 가능하게 될 것으로 판단된다. 아울러 시공 중 B계측을 위해 설치된

숫크리트 응력계, 남산1호구터널 교차구간에 설치된 간극수압계 및 콘크리트 라이닝 응력계를 공사완료 후에는 영구계측용으로 활용하도록 하여 효율적인 터널의 유지관리가 가능하도록 계획하였다. 터널의 내장계획에 있어서도 내장타일 대신 비오염 불소도장 내장재로 시공하도록 하였다. 또한 자료의 유지관리를 위해 시점측 관리사무소에 자료관리실을 계획하여 설계자료 뿐만 아니라, 개수공사시 및 유지관리시에 수집되는 모든 자료들을 보관할 수 있도록 하였다.

5. 맺는말

본 기술기사는 주어진 터널설계에서 추구되어야 할 핵심사항을 여러 측면에서 조명함으로써 자칫 지엽적인 설계사항을 너무 강조하여 원래의 설계목적이 혼탁해지는 일이 발생하지 않도록 하는데 일조하기를 희망하는 마음에서 쓰여진 것이다. 즉, 양보다는 질이 더 존중되고 실제 시공의 효율성이 깊은 심도로 고려되어 높게 평가받는 설계를 수행하기 위해 한번쯤 생각해 보고 싶은 사항들을 개수공사의 설계·시공일괄입찰설계에서 채택되지 못한 동아건설과 (주)신성의 설계 내용을 중심으로 정리한 것이다.

참고문헌

- 1) 동아건설, (주)신성(1998), 남산2호터널 개수공사 실시설계보고서 (미채택 설계임)
- 2) 서울특별시(1987), 남산1,2,3호터널 개수공사 실시설계보고서
- 3) 서울특별시(1993), 서울시 주요 구조물안전진단(1차)(Ⅳ)
- 4) 서울특별시(1996), 남산2호터널 정밀안전진단보고서
- 5) 서울특별시(1998), 남산2호터널 입찰안내서 작성 및 기본설계보고서