

서울지하철 6호선 건설계획

박계병¹, 이인근²

Planning and Design of Seoul Subway Line 6

Kyei-Byung Park, In-Keun Lee

ABSTRACT

To ease traffic congestion Seoul Metropolitan Government formulated the 2nd Phase of Seoul Subway Construction Scheme in 1989. The scheme calls for the construction of 160 km of subway which includes addition of 4 more subway lines and extension of 3 existing subway lines in addition to the existing 118 km of subway. As a final stage of the scheme subway line 6 is under planning and design. The line 6 is 36.1 km-long route connecting Ungam-Samgakchi-Changsin-Sinnae. Except for the depot main line will be underground and major construction methods are cut and cover and tunnelling. As a tunnelling method New Austrian Tunnelling Method will be adapted. The line will be opened by the end of 1997. With the completion of the line Seoul will have 278 km of subway network and the transport share by subway will be increased from 25% in 1992 to 50% in 1997.

1. 제2기 서울지하철 건설계획

1.1 서울지하철 현황

서울은 우리나라 행정, 정치, 경제, 사회, 문화의 중심지로서 국토의 0.6%에 불과한 좁은 면적에 인구는 전국 인구의 약 25%를 수용하고 있다. 이러한 서울의 과밀화는 필연적으로 교통수요의 폭발적인 증

¹ 서울특별시 지하철건설본부 설계감리실장

² 서울특별시 지하철건설본부 설계감리실 설계과장

가를 초래하였으며 노면교통으로는 처리할 수 없는 상황에 도달하였다. 이에 따라 건설비가 막대함에도 불구하고 노면통행인구를 대량으로 신속히 처리할 수 있는 지하철을 건설하게 되었다.

서울의 지하철은 1971년 4월 우리나라 최초의 지하철인 제1호선이 착공되어 1974년 8월 15일 준공 개통된 이후, 2호선, 3호선, 4호선이 준공 개통된 1985년 10월에는 총연장 118km의 본격적인 지하철시대를 맞이하였다. 또한 이들 지하철은 경수선, 경인선, 경원선, 안산선등 수도권 전철망과 함께 수도권의 대중교통 수단으로서의 큰 역할을 수행하고 있다. 통칭 제1기 지하철이라 불리우니 지하철 1, 2, 3, 4호선의 현황은 표 1과 같다.

표 1 서울시 제1기 지하철 현황

('93. 6현재)

구	분	계	1 호선	2 호선	3 호선	4 호선
구	간	4개노선	서울역~청량리	시청~강남	지축~양재	상계~사당
연장	건설	124.5	9.5	54.3	30.4	30.3
	영업	118.0km	7.8	54.2	27.7	28.3
정거장		103개역	9	46	24	24
건설	투자비	23,926억	330	8,771	14,825	
	기간	'71~'85	'71~'74	'78~'84	'80~'85	
전동차		1,410량	160	624	216	410
열차편성		156편성	16	67	32	41
운행 시각	R.H	2.5~4분	3	3~3.5	3~4	2.5~3
	평시	4~6분	4	5.5	6	6
운행회수		2,219회/일	550	925	412	432
수송인원		3,700천명	925	1,570	517	688

지하철 이용승객 현황을 살펴보면 지하철 운행초기인 76년도에 일평균 25만명 수준에서 2호선 전구간 개통전인 '83년까지는 78만명으로 완만한 증가추세를 보이다가 2호선 및 3, 4호선 개통과 더불어 급속히 증가, '89년에는 280만명에 이르고 금년 상반기에는 일평균 390만명을 돌파하여 극심한 혼잡도를 나타내고 있어 열차를 장대화하고, 운행회수를 증가시키는 등의 조치를 취하였으나 기존 노선만으로는 이러한 수요에 대처할 수 없는 실정에 이르렀다.

1.2 제2기 지하철 건설계획

1.2.1 건설계획

1985년 완공된 제1기 지하철은 서울시의 대중교통 수단으로서 기여도를 증대시켜 왔으나, 앞에서 언급한 바와 같이 혼잡이 극심할 뿐만 아니라 1기 지하철만으로는 지하철 노선망의 형성이 불완전하고, 타교통수단과의 연계체제도 미흡한 실정이다.

또한 80년대에 시민의 소득향상에 따라 승용차가 기하급수적으로 증가하여 1992년도에는 서울시의 자동차 보유대수는 150만대를 넘어, 1970년의 6만여대에 비해 약 25배가 증가하였다. 그러나 도로는 1990년에 18.4%라고 하나 차도로 활용이 제대로 안 되고 있는 폭 6m 미만의 도로를 제외하면 14.7%에 불과하며, 과거 7년간 교통량 증가추세에 비해 절대적으로 빈약한 년평균 0.36% 증가하는데 그쳐 교통난이 가중되고 있다.

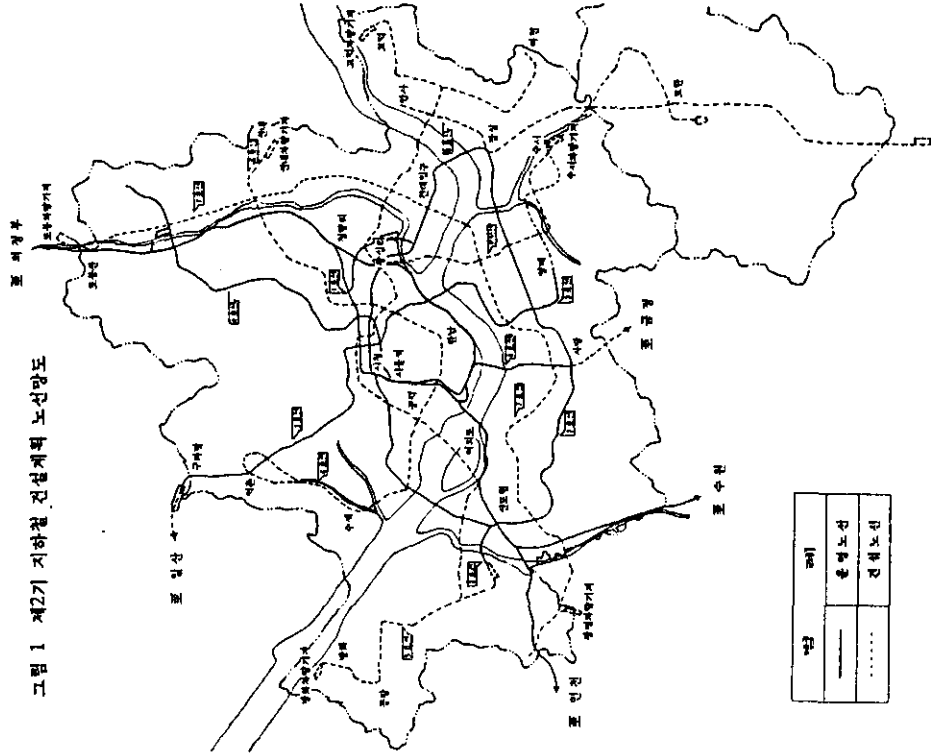
도시내 교통문제를 해소하고 도시의 균형발전을 유도하기 위하여 서울시는 제2기 지하철건설 계획을 수립 시행중에 있다. 1989년에 확정된 제2기 지하철 건설계획은 2, 3, 4호선 연장 15km와 5, 6, 7, 8호선 145km의 총연장 160km의 지하철노선망으로 계획의 개요와 노선망은 표 2 및 그림 1과 같다.

표-2 서울시 제2기 지하철건설계획

노선명	구간	연장		사업비	2 단계		
		중계	건설		1 단계	2 단계	
계		160km	174.8	82,190억원	48km	51.5km	61.5km
2호선 연장	신도림 ~ 북동	3	3	1,550 "	3		
3호선 연장	암사 ~ 수서	8	8.2	3,320 "	8		
4호선 연장	사당 ~ 남대문	3	3	527 "	3		
	상계 ~ 당고개	1	1.3	257 "	1		
5호선 신설	공평 ~ 길동 ~ 교대 거여	52	57.9	29,433 "	32	20	
6호선 신설	역촌 ~ 모심 ~ 신내	31	36.1	15,340 "	-	-	31
7호선 신설	상계 ~ 화양 ~ 광명	42	45.6	22,204 "	-	16	26
8호선 신설	암사 ~ 잠실 ~ 성남	20	19.7	8,559 "	-	15.5	4.5

* 2호선 연장구간 : '92. 5계통
 3호선 연장구간 : '93. 10 계통예정
 4호선 상계 ~ 당고개구간 : '93. 4계통

그림 1 제2기 지하철 건설계획 노선망도



제2기 지하철은 타당성 조사 및 노선확정시에 160km 였으나 기본설계 및 실시설계 과정을 통하여 약14.8km가 늘어나 현재 총 건설연장은 174.8km에 달하고 있다. 1990년말까지 1단계구간과 2단계 1차구간까지 착공되어 건설중에 있으며 2호선 연장구간과 4호선 연장구간의 일부 구간은 이미 개통운영되고 있다. 또한 2단계 2차구간에 대해서는 설계·시공 일괄입찰 방식 또는 대안입찰 방식을 채택하여 발주중에 있거나 실시설계중에 있다.

1.2.2 특징

제2기 지하철은 제1기 지하철에 비하여 아래와 같은 몇가지 특징을 갖고 있다.

1) 완전 자동운전 방식으로 건설

최신 기술을 도입한 차량설계로 완전 자동운전방식을 채택, 무인 운전도 가능토록하여 운영경비 절감 도모

2) 구조물 높이 축소로 건설비 절감

건설비를 절감하기 위하여 차량집전 장치 개량등으로 지하철 구조물의 높이를 65cm축소함으로써 약 5%의 공사비 절감 도모

3) 콘크리트 도상채택

레일 하부는 종전의 자갈도상에서 콘크리트도상으로 시공하여 지하공간의 환경오염(분진)을 방지하고 선로보수등 유지관리비 절감 도모

4) 터널공법 확대시행

공사중 교통장애를 최소화하기 위하여 터널공법 확대시행

5) 하저로 한강횡단(여의도, 천호동) 한강을 횡단하는 여의도와 천호동 구간에 국내 최초의 하저터널 건설 ⇒ 한강주변 경관을 보존, 접속구간 주택지의 소음공해 방지, 유사시에 강북과 강남의 전천후 교통수단 확보

6) 장애인 편의시설 확충

장애인용 에스컬레이터를 확대 설치, 주요역사에 엘리베이터 설치

- 7) 역세권 편익시설 확충
역세권에 주차장, 근린생활시설등 편익시설을 확충
- 8) 역무기능 자동화, 집중화
역무기능을 자동화하고, 기능을 집중하여 유지관리 인원 축소 관리비 절감 도모
- 9) 에너지 절약형 차량 선택 (저항제어→CHOPPER→V.V.V.F)
차량의 경량화및 최신기술의 차량을 채택하여 전력비용 절감 도모
- 10) 지하공간의 환경개선
콘크리트도상 채택으로 분진 발생억제 및 강제 환기방식 채택하여 오염된 공기의 신속배출
- 11) 역사 냉방시설 설치
하절기의 승객편의를 위하여 전역사에 냉방시설 설치

2. 6호선 건설계획

2.1 개요

서울지하철 6호선의 건설개요는 다음과 같다.

- 구 간 : 응암—수색—삼각지—한남—창신—고대—석계—신내
- 건설 연장 : 36,164M (정거장 6,270M, 본선 29,894M)
- 정 거 장 : 38개소 (승환정거장 12개소)
- 차량 기지 : 1개소
- 추정사업비 : 16,340억원
- 건설 기간 : 1993~1997

2.2 노선계획

제2기 지하철 노선망은 8호선을 제외하고는 도심을 통과하는 방사형과 주요 도·부도심을 경유하는 순환형의 간선위주로 구성되어 있다.

이중 지하철 6호선은 도로가 협소하고 교통환경이 불량한 진관외동및 불광동지역에 ‘응암~불광~연신내~응암’으로 이어지는 루프라인



서울地下鐵 6號線 路線圖

그림 2 지하철 6호선 노선도

을 계획하였고, 장래 개발예정인 상암택지개발예정지를 통과하여 노면교통이 포화상태를 이루고 있는 합정로와 대흥로를 지나서, 상가밀집지역인 이태원동 및 신당동을 거쳐, 도로가 협소하여 교통환경이 열악한 창신동·보문동과 안암동을 지나, 주거지역인 상·하월곡동을 통과하여 신내택지개발지에 이른다.(그림 2 지하철 6호선 노선도참조) 그리고 기존 지하철 노선과 7개소, 향후 건설예정인 노선과 3개소, 철도와 2개소등 총 12개소에서 연계·승환토록 계획되었다.

이와 같이 지하철 6호선은 도심외곽지역을 우회하면서 통행유발요인이 상당히 큰 부도심 및 주거지역을 경유할 뿐 만 아니라 신내지구, 상암지구, 공릉1,2지구등 인접지역내 택지개발계획과 기타 직접영향권내 주거환경개선사업 및 재개발사업계획등이 수립되어 있어 장래 통행수요의 잠재력이 지대할 것으로 예견된다.

2.3 정거장 계획

지하철에 있어서 정거장은 지역사회 상호간을 연결하는 대표적인 시설물로서 계획노선의 교통분담 및 주변개발, 운행개시후 여객의 흡수율 및 운전효율 등 운전전반에 걸쳐 큰 영향을 미친다.

정거장 계획에 있어서는 역세권 및 연계수송 효율을 검토하고 전체적인 선형계획 및 지반조건을 고려하였다. 역간 거리는 최대 1,400m, 최소 655m이며, 평균 925m이다.

2.4 배선계획

배선계획은 운행중인 국내 지하철 및 외국의 예를 근거로 하여 수립하였으며, 적용한 대체적인 기준은 다음과 같다.

- 구간별 통과인원을 고려한 반복운전설비 : 7km내외
- 고장차 대피공간 확보 : 4.5km내외
- 모터카 유치공간 및 현업분소 : 10km내외
- 차량반입선 : 1개소

지하철 6호선에서는 유치선 7개소 및 2분시격 운전이 가능토록 회차선이 4개소 계획되어 있다.

2.5 예상 교통수요

지하철 6호선의 예상교통수요를 개통시점인 1997년, 2001년 그리고 목표년도인 2010년으로 나누어 살펴보면 표 3과 같다.

표-3 각 년도별 1일 및 첨두시 예상수요

(단위 : 인)

구 분	이용객	최대 혼잡구간	비 고	
1997년	1 일	1,305,402	창신~보문 (301,379)	-
	첨두	160,223	보문~창신 (41,875)	집중율 12.3%
2001년	1 일	1,319,276	창신~보문 (316,400)	-
	첨두	181,310	보문~창신 (45,023)	집중율 13.7%
2010년	1 일	1,634,406	동묘앞~창신(375,976)	-
	첨두	219,434	창신~동묘앞(53,440)	집중율 13.4%

이 표에서 볼 수 있는 바와 같이 첨두시 집중율은 12~13% 수준에 이를 것으로 전망되며, 개통 시점인 1997년의 첨두시에는 약 160,000인, 2010년에는 약 220,000인에 이를 것으로 분석되었으며, 최대혼잡구간은 보문~창신동, 창신동~동묘앞 구간으로 분석되었는데 구간통과 인원은 각각 41,875인, 53,440인에 이를 것으로 추정된다.

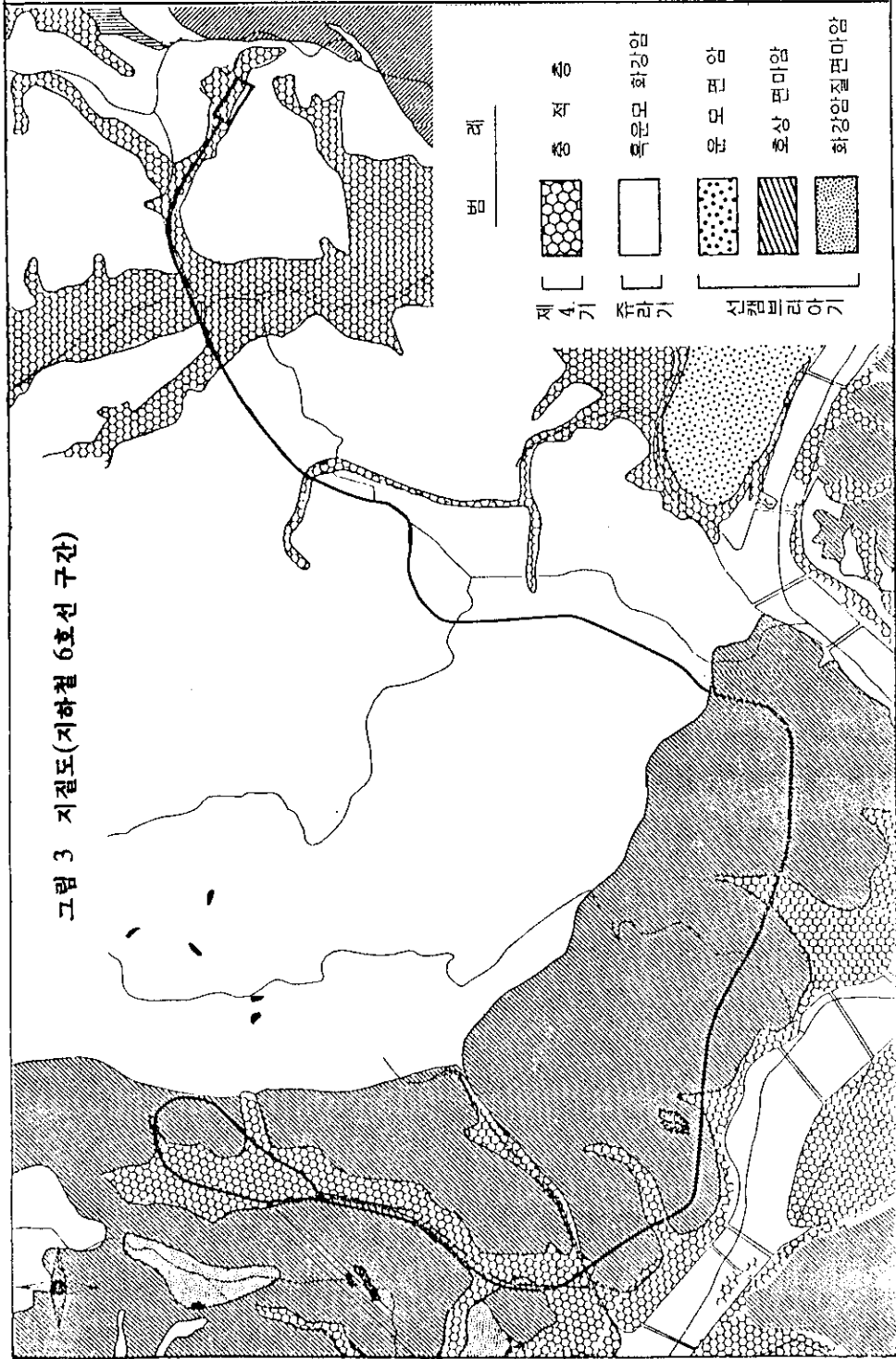
한편 1일 이용객은 개통시점인 1997년이 약 130만명, 2010년이 약 160만인이며, 구간 최대혼잡구간은 각각 창신동~보문동, 동묘앞~창신동으로 각각 30만인, 37만인에 이를 것으로 추정된다.

3. 지반현황

3.1 개요

지하철 6호선 통과 구간의 지질은 그림 3의 지질도에서 보는 바와 같이 선캠브리아기의 변성암류 (경기편마암 복합체), 중생대의 화성암류(흑운모 화강암) 그리고 이들을 모두 부정합으로 덮고 있는 제4기의 충적층으로 구성되어 있다.

그림 3 지질도(지하철 6호선 구간)



구간내에서 가능 큰 암체인 화상흑운모 편마암(Banded Biotite Gneiss)은 지형적으로 저지대를 이루면서 마포구 망원동, 합정동, 공덕동, 용산구 이태원 일원에 넓게 분포되는데 노두의 발달은 불량한 편이다. 화강암질 편마암(Granitic Gneiss)은 편마암류중 가장 고도의 화강암화 작용을 받은 암석으로서 중랑구 신내동 차량기지 지역과 서대문구 상암동 등지에 소규모로 산재하며, 풍화와 침식에 대한 저항력이 약해 주로 낮은 구릉 또는 잔구를 형성한다. 흑운모 화강암(Biotite Granite)은 서울 부근에 분포하는 저반(Batholith)의 일부로서 대보화강암의 연장부이며, 일명 서울 화강암이라고 부르는 마그마 기원의 심성관입암이다. 본 암은 북악산 일대에서 남산에 이르는 곳에 주로 분포하며 중랑구 상봉동 일대에도 분포하고 있다. 제4기 충적층은 한강 주변과 불광천, 홍제천 일대에 넓게 분포한다.

3.2 지층구조와 특성

전술한 바와 같이 지하철 6호선 노선구간에는 호상 흑운모 편마암과 흑운모 화강암 및 제4기 충적층을 기반암으로 하여 분포하고 있다. 이들 기반암들은 정도의 차이는 있으나 풍화작용을 받아 상당한 깊이까지 풍화토 및 풍화암이 발달되어 있다. 이들 기반암과 풍화암 및 풍화토들은 직접 지표에 노출되는 경우도 있으나 대부분의 지점에서 한강 범람 및 소지류에 의한 실트, 점토, 사력등으로 구성된 미고결 상태의 퇴적물에 의하여 피복되어 있다. 지표부를 따라서는 택지개발 및 도로포장 등의 도시개발로 인한 매립토가 전구간에 분포하고 있다.

기반암의 종류와 지형특성에 따라 지층발달상태는 다양하게 변화하고 있으나 일반적인 지반구성은 지표로부터 1) 매립층, 2) 충적층, 3) 풍화토를 포함하는 기반암의 풍화대, 4) 기반암(연암 및 경암) 등으로 구분된다.

3.2.1 매립층

각종 건설공사와 도시개발을 위해 원지반을 인위적으로 매립한 층으로 곳곳에 불규칙하게 분포하고 있다. 평균두께는 1~4m내외로 저지매립 지역이나 정지주변 지역에서는 10m이상에 이르는 곳도 있다. 대부분 자갈섞인 실트질 모래와 모래질 자갈로 구성되며 부분적으로 쓰레기와 큰자갈을 보유하고 있다.

표준관입시험 결과에 의하면 자갈 또는 큰자갈이 혼재하는 지역을 제외한 대부분의 매립층들은 다짐을 받지 않는 상태로는 느슨내지 보통 정밀한 상대밀도를 보여주고 있다. 또한 현장투수시험 결과 투수계수 투수계수 $K=3.4 \times 10^{-4} \sim 5.4 \times 10^{-5}$ cm/sec 범위를 나타내고 있다.

3.2.2 충적층

충적층은 불광천, 홍재천, 정통천, 증랑천 등의 하천주변과 망원동, 신내동 일대 지역에 광범위하게 분포하고 있다. 이들 층을 대상으로 실시한 표준관입시험 결과, 대체로 점토, 실트층의 N치 5~20내외, 모래층의 N치 5~30내외 그리고 자갈층의 N치 10~40내외 등으로 매우 넓은 범위의 연경도 및 상대밀도를 갖고 있어 그 공학적 특성이 다양 할 것으로 판단된다.

본 층은 대부분 지점에서 지하수위를 형성하고 있는 층으로 지하수의 유출 상태를 지배하는 영역으로 판단된다. 이들 층을 대상으로 굴착 공사시 지하수 유출로 인한 시공성 불량과 인접지역의 지반침하 등의 문제를 야기시킬 것이 예상된다. 충적층을 대상으로 실시한 현장투수 시험결과, 투수계수는 $K=7.6 \times 10^{-3} \sim 1.6 \times 10^{-5}$ cm/sec의 범위를 나타내고 있다.

3.2.3 풍화대

본 층에 속하는 흙들은 풍화진행 정도에 따라 풍화토층, 풍화암층으로 구분된다.

풍화토는 몇몇 지역에서 국부적으로 분포하는 불규칙한 상태를 나타내고 있으나 풍화암은 전구간에 걸쳐 지하심부까지 발달하고 있다. 본 층에 대한 표준판입시험치는 상층부에서는 일반적으로 N치 20~50회/15cm이나 하부의 풍화암층에서는 50회/15cm이상으로 원위치에서 매우 굳고 치밀한 상태를 보여주고 있다. 그러나 본 층은 대기 또는 물과 접촉하는 경우 타격에 의하여 쉽게 분해되며, 특히 물과 접촉하는 경우 그 공학적 특성이 급변하는 경향이 있다.

풍화대에서 실시한 현장투수시험 결과, 풍화대에서는 투수계수 $K=8.5 \times 10^{-4} \sim 2.0 \times 10^{-5}$ cm/sec의 범위를 나타내고 있으며, 풍화암에서는 $K=7.6 \times 10^{-4} \sim 2.5 \times 10^{-6}$ cm/sec를 나타낸다.

3.2.4 기반암층

풍화암 하부에는 역학적, 기계적 풍화작용이 진행되고 있는 기반암 전이대가 위치한다. 기반암 전이대는 상층부에 원래 존재하고 있던 절리와 파쇄면을 따라 풍화작용이 진행되어 불연속면을 따라서 풍화점토들이 충전되고 암체들이 암괴상으로 분리를 시작하는 연암과 그 하부의 상대적으로 신선한 경암 등으로 구성되어 있다.

기반암층에서의 현장투수시험 결과 투수계수 $K=7.4 \times 10^{-3} \sim 9.1 \times 10^{-6}$ cm/sec의 범위에 있으며, 수압시험 결과 Lugeon치는 1~76의 범위를 나타내고 있다. 기반암층에서 실시한 암석시험 결과중 암석코아의 일축압축강도는 250~2,200kg/cm²의 범위에 있다.

4. 설계기준

6호선을 포함한 제2기 지하철 설계기준은 제1기 지하철 설계기준에 근간을 두고 있으나, 제1기 지하철건설 및 유지관리 경험을 기초로 하여 상당부분을 개선하였다. 특히 차량집전장치를 개량함으로써 지하구조물의 높이를 65cm 축소하고 운영개념을 운전시각 2.5분으로 단축하여 열차편성을 10량에서 8량으로 축소시킴으로써 승강장의 길이를 40m 감소시켜 건설비를 절감하도록 하였다. 또한 궤도구조를 콘크리트도상으로 변경하여 유지관리비의 절감과 환경을 개선코자 하였다. 그리고 구조물 설계에서는 설계기법의 발전과 관련 시방규정에 발 맞추어 변경하였다.

4.1 선로

선로에 관한 설계기준은 서울 도시철도 건설규칙에 따랐으며 그 주요 내용은 표 4와 같다.

4.2 구조물

종래 허용응력 설계법을 따랐던 철근콘크리트구조물은 시방규정의 변경에 따라 강도설계법을 적용토록 하였고, 강재구조물, PS 콘크리트, 가설구조물등은 계속 허용응력 설계법을 적용하였다.

5. 공법선정

지하철공법은 크게 나누어 지상공법, 개착식공법 그리고 터널공법으로 분류된다. 이러한 건설공법은 지반조건, 지하수위, 인접구조물및 매설물, 노면교통, 공사비, 시공성과 주변환경에 미치는 영향을 종합적으로 검토하여 선정하였다. 지하철 6호선에서는 신내차량기지 인접구간에서 지상공법을 채택하고 기타구간에는 개착식 혹은 터널공법을 채택하였다.

표 4 선로설계기준

항 목	기 준	비 고
궤 간	1,435mm	
슬 레	$S = \frac{2,250}{R} \text{ (mm)}$	R : 곡선반경 (m) S : 최대 25mm
곡선반경 (R)	본 선 : 250m 이상 정 거 장 : 400m 이상 측 선 : 120m 이상 분기부대 : 145m 이상	부득이한 경우 180m 이상
캔 트	$C = 11.8 \frac{V^2}{R} - C'$	C : 표준 캔트 (mm) R : 곡선 반경 (m) V : 열차속도 (km/hr) C' : 허용캔트 부족량(0~100mm)
완화곡선	표준캔트 × 600배	곡선반경 800m이하의 곡선과 직선의 접속 개소
구 배	본 선 : 35/1,000 이하 정 거 장 : 8/1,000 이하 측 선 : 3/1,000 이하	차량을 분리·연결·유치할 경우 3/1,000 이하 유치선이 아닌 경우 45/1,000 이하
총 곡선	3,000m 이상	
건축한계	지하 3,600×4,650mm 지상 3,600×5,500mm	곡선부 확대 $W = \frac{24,000}{R} \text{ (mm)}$
구축한계	단선 4,700×5,300mm 복선 4,100×5,300mm	.
궤도중심간격	직선부 4,000mm 이상 곡선부 직선부표준 + 2W 이상	중간에 기둥이나 벽이 있는 경우 4,400mm 이상
도 상	125mm 이상	콘크리트
승강장길이	165m	8량 편성

5.1 공법선정의 기준

제1기 지하철에 비하여 제2기 지하철에서는 터널공법을 확대적용하였다. 제1기 지하철에서는 주로 개착공법을 채택하여, 터널공법 적용구간은 16.9%에 불과하였다. 제2기 지하철에서는 터널공법 적용구간이 48.3%에 이르렀다. 이는 그간의 터널기술의 발전이 큰 원인이 되겠으나 도심지에서의 교통혼잡이 현실적으로 개착공법을 허용하기에 매우 어려운 점이 있기 때문이다.

지하철 6호선의 터널채택 구간연장은 15.6km로 43.2% 수준이다. 터널공법은 일반적으로 노면교통 처리에 따른 민원을 최소화할 필요가 있는 구간에서 심도가 깊고 암반발달 상태가 비교적 좋은 구간에서 채택하였다. 한편 교통처리에 비교적 여유가 있는 외곽지역이나 층적층이 발달된 구간에서는 중단계획을 높게 설정하고 개착공법을 적용하였다. 그러나 정거장의 기능실, 작업구, 환기구등은 불가피하게 개착공법을 채택하였다.

공법선정 내용을 구간별로 살펴보면 시점부 Loop 구간에서는 터널공법을 층적층이 발달한 가좌~수색~망원 구간은 개착공법을 합정~공덕~삼각지~이태원~약수~창신~중암에 이르는 구간은 암반발달 상태가 좋아 일부구간을 제외하고는 터널공법을 그리고 중암에서 중점인 차량기지까지는 개착공법을 채택하였다.

5.2 개착공법

지하철 6호선에서는 개착공법으로서 제1,2기 지하철건설을 통하여 충분한 경험을 축적한 버팀대공법을 위주로 설계하였다. 이는 굴착하고자 하는 용지의 외곽에 흙막이 벽을 설치하고 이것을 버팀대·띠장등의 지보공으로 지지하며 굴착을 진행해 가는 공법이다. 이 공법은 용지 경계면까지 경제적으로 굴착할 수 있으며, 버팀대의 압축강도 그 자체를 이용하여 흙막이를 하기 때문에 그 응력상태도 확인하기 쉽고 안전관리가 용이하여 취약지반에도 채택할 수 있는 등의 이점이

있다. 그러나 굴착면적이 크게 되면 버팀대 자체의 비틀림과 이음 부분의 좌굴등으로 흠막이 전체의 변형도 크게되며 주변 지반침하의 우려가 있다. 주변지반 침하의 우려가 큰 경계에는 버팀대 가설시에 미리 적당한 하중을 주어서 버팀대를 긴장시켜 두도록 하였다. 버팀대 및 떠장의 자재로서는 강재 및 철근콘크리트가 일반적이다.

한편 지반조건이 좋을 경우에는 어스앵카 공법을 선정하였다. 이 공법은 버팀대 대신 굴착주변 지반중에 Earth Anchor를 설치하여, 이 Anchor의 주변 지반과의 마찰저항으로 토류벽에 작용하는 토압 및 수압등의 외력에 대응하도록 설계하는 것이다. 이 공법은 굴착평면이나 굴착깊이가 복잡하며 경사부에서 버팀재의 가설이 곤란한 경우나 큰 작업공간이 필요한 경우에 채택하였다. 그러나 이 공법은 앵커를 정착시킬 수 있는 지반이 적당한 위치에 있는가의 여부가 판전이 된다.

5.3 터널공법

지하철 6호선에서 채택한 터널공법으로는 지하철 3, 4호선 건설시 적용하기 시작하여 5, 7, 8호선 건설에도 채택하여 충분한 실적을 갖고 있는 NATM공법을 위주로 설계하였다. 본 공법은 굴착후 빠른 시간내에 굴착면에 슛크리트나 록볼트등 지보재를 설치, 굴착면을 밀봉시킴으로서 원지반의 이완을 방지하여 원지반이 지지력을 적극적으로 활용함과 동시에 시공중 터널주변 지반의 거동 및 지보재에 작용하는 응력을 설측을 통하여 확인, 제어하여 터널의 안정성을 확보하는 공법이다. 즉 NATM에서 터널을 본질적으로 지지하는 요소는 터널주변 지반이며, 지보공 및 보호공은 지반중에 내하Ring을 형성하여 지반과 일체화된 구조물로서의 터널을 형성하는 것이다. NATM 터널공법을 적용하면서 고려한 몇가지 사항은 다음과 같다.

5.3.1 터널공법 적용을 위한 지반분류

터널의 지보패턴 결정등을 위한 지반분류 방법에는 크게 나누어 정성적인 방법, 정량적인 방법이 있는데 그동안 서울지하철에서는 정성적인 방법을 채택하였다. 그러나 이 방법은 적용하는 사람에 따라 큰 차이가 나고 또한 굴착작업시 막장관찰에 의한 분류위주여서 설계단계에서 지반(시추)조사 결과에 적용키 어려운 점이 많았다.

이를 개선하고자 지하철 6호선에서는 RMR법을 근거를 둔 정량적인 방법을 도입하였다. 표 5에서 알 수 있는 바와 같이 우선 지반명에 '층'을 덧붙여 분류에 있어서 암석이 아닌 암반의 개념을 도입하였고 RMR치를 결정하는 6개의 요소중 시추조사시 판단가능한 4개의 요소로 지반을 분류토록 하였으며 그 명칭도 현장에서 통상사용하는 것으로 하였다.

5.3.2 단면의 크기

제2기 지하철 초기 단계에 터널단면은 주로 경제적인 면에서 고려되고 결정되었다. 따라서 단선병렬 보다는 복선터널 위주로 설계·건설되었다. 지하철용 단선터널의 크기는 45㎡내외, 복선터널의 크기는 75㎡내외로서 복선터널의 굴착량이 소량이기 때문이다. 그러나 건설과정을 거치면서 복선터널 보다는 단선병렬 터널의 장점이 부각되고 있다.

우선 단선터널은 복선터널에 비하여 승객의 접근성을 높일 수 있는 공법이다. 지하철은 도심에서 승객의 접근성을 우선적으로 고려하여야 하기 때문에 가능한 한 심도를 높여야 하나 이는 터널단면의 크기와 확보할 수 있는 견고한 지반의 두께에 관계된다. 단선터널은 복선터널보다 작은 토피에서도 터널을 굴착할 수 있는 장점이 있다. 또 하나 단선터널의 장점을 그 안전성에 있다. 제2기 지하철을 시작한 이래 터널내에서 발생하였던 10여건의 대소 붕락사고를 분석해볼 때 80%에 해당하는 대부분의 사고가 복선터널에서 발생하였으며,

표 5 터널공법 적용을 위한 지반분류

지반명 및 개략적인 특징	지질조사시의 지반분류 기준
<p>【 풍화토층(RS) 】 조암광물이 대부분 완전풍화 되어 암석으로서의 결합력을 상실한 풍화산류토로서 절리의 대부분은 풍화산물인 2차 광물로 충전되어 흔적만 보이고 함수포화시에 전단강도가 현저히 저하되기도 하며, 손으로 쉽게 부수어지고 N치가 100회/30cm 미만인 지반</p>	<p>TCR = 0% RQD = 0% N < 100회/30cm qu < 100kg/cm²</p>
<p>【 풍화암층(WR) 】 조암광물이 상당히 풍화되어 암석자체의 색조가 변색되었으며, 충전물이 채워지거나 열린 절리가 많고 암석은 가벼운 망치 타격에 쉽게 부수어 지면 절리빈도가 아주 높고, 시추시 압편만 회수되어 코아회수율이 30% 미만이고 N치 100회/30cm 이상인 지반</p>	<p>TCR < 30% RQD < 10% N ≥ 100회/30cm qu < 100kg/cm²</p>
<p>【 연 암 층(WR) 】 절리면 주변의 조암광물은 풍화되어 변색되었으나 암석내부는 부분적으로 풍화가 진행중이며, 망치 타격에 둔탁한 소리가 나면서 파괴되고, 일부 열린 절리가 있으며 절리간격은 100cm 미만이고, Nx시추시에 코아회수율이 30~60%(RQD25% 미만)의 범위인 지반</p>	<p>TCR ≥ 30% RQD < 25% qu < 250kg/cm² Js < 100cm</p>
<p>【 보통암층(WR) 】 절리면에서 풍화가 진행되어 일부 변색되었으나 암석은 강한 망치 타격에 다소 맑은 소리가 나면서 깨어지고, 절리면은 대부분 밀착되어 있고 절리간격은 보통 200cm 미만이며, 코아 회수율은 60~80%(RQD<50%)의 범위인 지반</p>	<p>TCR ≥ 60% RQD ≥ 25% qu ≥ 250kg/cm² Js < 200cm</p>
<p>【 경 암 층(HR) 】 조암광물이 거의 풍화되지 않았으며 암석은 강한 망치타격에 맑은 소리를 내며 깨어지고, 절리면은 잘 밀착되어 있으며 절리 간격은 300cm 미만이며, Nx 시추시에 코아회수율은 80%(RQD 50~75%) 이상의 지반</p>	<p>TCR ≥ 80% RQD ≥ 50% qu ≥ 500kg/cm² Js < 300cm</p>
<p>【 극경암층(XHR) 】 경암층과 같은 특징을 가지나 절리 간격이 300cm 이상이거나 RQD가 75% 이상인 지반</p>	<p>TCR ≥ 80% RQD ≥ 75% qu ≥ 1000kg/cm² Js ≥ 300cm</p>

주1) 본 분류는 RMR-System (Bieniawski, 1974, 1984)의 분류기준을 기초로 작성되었음

주2) TCR : 코아회수율, RQD : 암질 표시율, qu : 시료일축압축강도, Js : 절리면 간격이며, TCR 및 RQD는 Nx공정 다이아몬드 비트와 이중코어베럴을 사용한 시추시의 측정치이며, 삼중코어베럴을 이용하는 경우는 코아회수율이 현저히 증가되므로 분류기준에 TCR은 무시함.

서울지하철의 경우 단선터널에서는 붕괴에 이른 사고는 없었다. 이외에도 단선터널은 비배수형을 쉽게 채택할 수 있고 작업의 속도가 빠르다는 장점이 있다. 그러나 단선터널은 지하보상 면적이 넓어 보상비가 많이 소요한다는 단점이 있다. 무엇보다도 터널작업중의 안전을 도모한다는 면에서 특별히 큰 단면이 필요한 경우나 과도한 보상을 수반하는 경우를 제외하고는 지하철 6호선에서는 단선병렬터널을 원칙으로 하여 설계하였다.

5.3.3 터널내 배수

제2기 지하철 초기단계에서 터널은 대부분 유도배수형으로 설계하였다. 즉, 터널의 천정부와 측벽부 1차 라이닝 위에 부직포와 방수막을 설치하여 터널내부로 유입되는 지하수를 유도하여 배수처리하였다. 이 경우에는 라이닝에 수압이 작용하지 않는다고 가정할 수 있으므로 구조적으로 얇은 무근콘크리트만으로 2차 라이닝을 설치할 수 있다. 그러나 지하수를 터널내부로 유도배수 처리하는 경우 터널 내부가 습해져 전체적으로 지하철의 수명을 단축시킬 수 있으며, 운영기간 동안 배수처리 비용이 소요되고 주변 지하수위가 저하되는 결과를 초래할 수 있다.

비배수형 터널 즉, 전단면에 부직포와 방수막을 설치하여 지하수를 완전히 차단하는 경우는 배수형 터널의 단점을 극복할 수 있으나 라이닝 콘크리트 설계시 지하수위를 고려하여야 하므로 추가 비용이 소요된다. 특히 단면이 큰 경우에는 채택에 어려움이 있다. 지하철 6호선에서는 과도한 지하수의 유출이 예상되는 구간이나 단면이 비교적 작은 경우(단선)에는 비배수형을 원칙으로 하여 설계하였다. 비배수형 터널의 경우에는 추후 시공단계에서 엄격한 품질관리가 요구된다.

5.3.4 단면의 형상

터널의 단면은 원형, 계란형(타원형), 마제형중의 하나를 채택하는 것이 보통이며, 선정시에는 방수형태, 경제성, 시공성 등이 주로 고려된다. 원형 터널이 구조적으로 가장 안정되었으나 시공이 어렵고 비경제적이다. 지금까지 지하철 터널에 많이 채택되었던 마제형은 시공성이 좋고 굴착량도 적어 경제적이거나 구조적으로는 불안정하여 수압을 받는 방수형 터널을 만들 수 없다. 계란형은 마제형 보다 굴착량은 많으나 원형 보다는 적고 구조적으로 비교적 안정된 형태이다. 따라서 단선병렬에 방수형 터널을 원칙으로한 지하철 6호선에서는 터널의 기본형으로 계란형을 선택하였다. 6호선에 사용예정인 터널의 형상은 그림 4에 나타나 있다.

5.3.5 굴착방법

제1기 지하철에서 사용하였던 NATM 터널의 주요 굴착방법은 발파였다. 이는 상대적으로 지반이 좋은 구간에 터널공법을 채택하였기 때문이었다. 그러나 터널공법을 대부분의 구간에 적용한 제2기 지하철에서는 발파공법을 채택할 만큼 지반이 좋지 않는 경우가 많아 기계굴착이 많이 적용되고 있다. 지하철 6호선에서도 현재 사용중인 제2기 지하철 초기 단계의 경험을 살려 풍화암을 포함한 풍화대에서는 기계굴착을 적용키로 하였고 막장의 자립시간이 짧은 것을 감안하여 상하반 분할 혹은 지지코어를 남겨놓고 굴착하는 공법을 채택하였다. 지반이 연암이상으로 좋은 경우에도 발파에 따른 진동·소음으로 민원이 발생할 것을 대비하여 Smooth Blasting 혹은 Cautious Blasting을 계획하고 있다.

5.3.6 작업의 기계화

터널작업의 기계화는 대별하여 천공이나 굴착등 주요공정은 기계화하는 경우와 라이닝을 포함한 터널작업 전과정을 기계화하는 경우가 있다. 전자의 예로는 점보드릴, 로드헤더, TBM등을 들 수 있고, 후

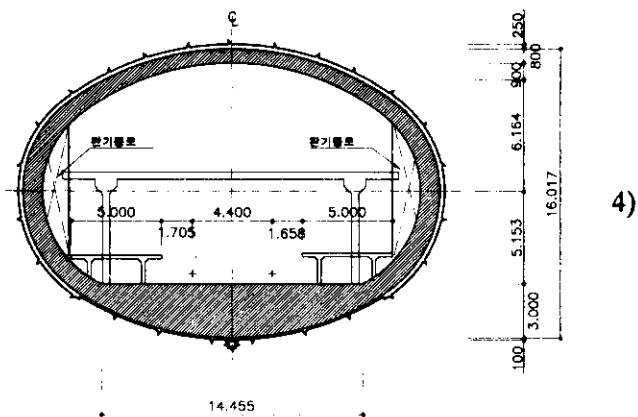
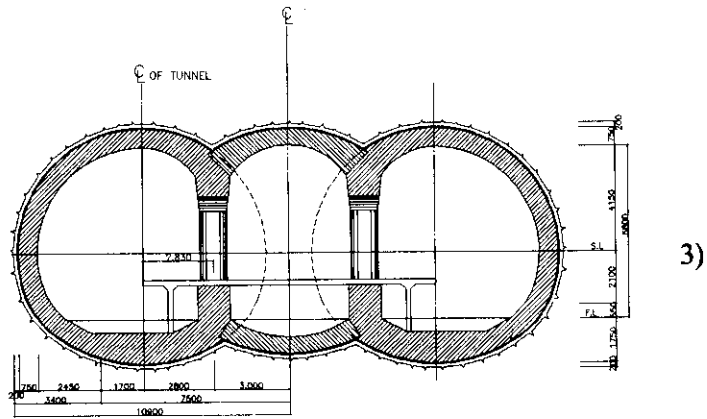
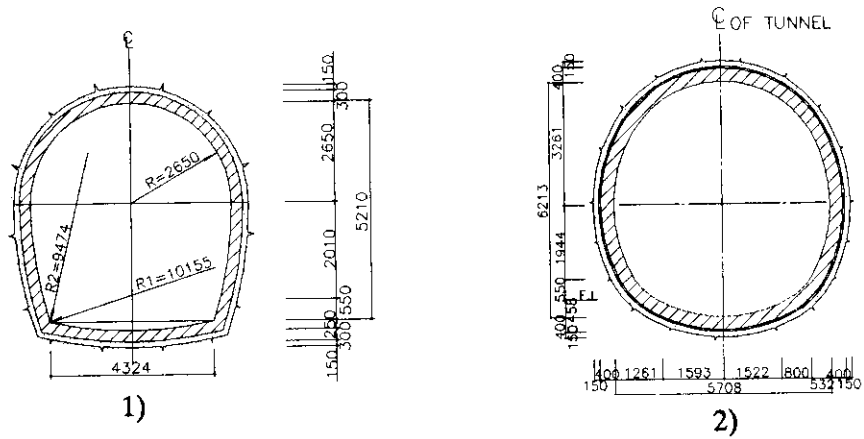


그림 4 터널단면의 형상

1) 5호선(마제형)
3) 서강정거장

2) 6호선(제란형)
4) 버티고개정거장

자의 예로는 실드기계가 대표적이다. 기계화 수준은 시공상의 의도나 능력에 좌우되는 경우가 많고, 어느 경우나 기계화하는 경우에는 터널작업 시스템에 큰 영향을 미친다. 지하철 6호선 전구간을 통해 볼 때 부분적인 기계화가 유리한 구간도 있고 전공정을 기계화할 수 있는 구간도 있어 그 수준을 계약과정을 통하여 시공자가 선택할 수 있도록 하였다. 그러나 터널작업을 위한 최소한의 장비는 시방에 규정토록 하였다.

5.4 기타공법

기타 공법으로는 기존 구조물 통과시 채택한 밀받침 공법(underpinning)과 연약지반 개량시 고려한 지반개량공법(grouting)이 있다. 지반개량은 지반의 강도를 증진시키거나 차수성을 높여 막장의 자립성 및 시공성을 증진하고자 하는 경우나 주변의 지반침하를 방지코자 하는 경우에 채택하였다.

6. 사업추진계획 및 실적

사업은 36.1km 전구간 기본계획 확정후 향후 건설공사 추진시 적정한 공사물량을 가지도록 수개의 공구로 나눈 다음 공사발주 방법을 결정하고 실시설계 혹은 공사발주 절차를 따르도록 하였다.

6.1 공구의 분할

제2기 지하철 초기단계 발주시에는 1개공구를 평균 1km 정도로 하였으나 최선의 장비나 기술을 도입하기에는 규모가 작다고 판단되어 지하철 6호선에서는 1개 공구를 3~4km로 장대화 하였다. 공구분할 시에는 우선 공구내 시공공정을 단순화시켜 작업효율을 높일 수 있도록 하였고 또한 공구별 공사물량을 비슷하게 하여 공사완료시기가 동일하게 되도록 배려하였다. 공사발주 방법은 건설업체의 능력을 최대한 발휘하여 책임시공이 될 수 있도록 유도하기 위하여 설계·시공 일괄입찰 방식이나 대안입찰 위주로 하였다. 그러나 서울특별

시 계획이나 사업이 중복되어 시공자의 대안제시에 제한이 가해질 소지가 있는 구간은 일반공사로 발주토록 하였다. 공구분할 및 발주방식의 내역은 표 6과 같다.

표 6 지하철 6호선 공구분할 현황

위	치	연	장	발주방식	비	고
응암	~역촌~불광~독바위골	6,853.7m		일 팔		터널구간
응암	~ 증산	2,231.8m		대 안		
수색	~성산~마포구청	2,400m		대 안		
망원	~ 합정 ~ 상수	2,500m		대 안		
신수	~ 대흥	2,281.8m		대 안		
공덕	~ 삼각지 ~ 녹사평	3,640m		일 팔		터널구간
이태원	~한강진~버티고개~약수	3,600m		일 팔		"
광희문	~신당~동묘앞~창신	3,436m		대 안		
보문	~ 안암 ~ 종암	3,000m		대 안		
월곡 석계	~ 상월곡 ~ 돌곶이 ~ 불암 ~ 태릉입구	4,560m		기 타		북부고속도로
봉화산	~ 신내차량기지	1,607m		일 팔		차량기지

6.2 설계 · 시공 일괄입찰

이는 시공자 책임하에 설계 · 기자재 구매 및 시공을 일괄하여 추진하는 방식으로 총 4개공구 15.7km와 차량기지가 이에 해당된다. 참여회사의 설계 전문성과 시공 기술능력을 최대한 발휘할 수 있도록 토목뿐만 아니라 건축, 설비, 전기, 통신분야까지 포함시켰다. 그러나 인접 공구와의 연결성을 확보하기 위하여 시중점의 종평면 선형은 기본계획에 따라 미리 지정하고 변경할 수 없도록 하였다.

설계 · 시공 일괄입찰 방식으로 발주하기 위하여 지하철건설본부에서는 '92년말부터 상세한 입찰안내서를 작성하기 시작하였으며, 금년5월 입찰공고후 하반기에 기본설계 입찰중에 있다. 기본설계 입찰시

에는 실시설계 대상자(적격자) 1개 업체를 선정하며, 선정기준은 제시한 공사금액을 입찰시 제출한 설계도서 평가점수로 나누어 낮은 금액 여부로 결정한다. 실시설계 대상자는 소정의 기일내 실시설계도서를 제출하고 실시설계 내용이 적절할 때 계약을 체결하게 된다. 현재 진행중인 기본설계 입찰에는 6~9개 업체가 참여하여 지하철 6호선에 대한 높은 관심을 보여주고 있다.

6.3 대안입찰

대안입찰이란 지하철건설본부가 제시한 설계(원안)중 대체가능한 공종에 대하여 건설업체가 설계한 대안을 원안과 함께 제출 입찰하는 방식을 말한다. 대안입찰 방식으로는 총 6개 공구 15.8km를 발주할 예정이다.

우선 원안설계를 위하여 지하철건설본부에서는 92년 하반기에 3개의 설계업체를 선정, 1개 업체에서 시공공구 2개 구간에 대한 실시설계를 시행중에 있다. 실시설계 업체는 업체 및 과업수행 능력을 평가하여 2개 업체를 선정한 다음, 입찰시 제출한 가격으로 경쟁하여 선정하였다.

금년말 입찰공고 예정인 6개공구의 대안입찰 설계범위는 개착공법과 터널공법간 조정뿐 만 아니라 토류벽 형식등 가시설공법, 터널공법 일체, 자재수급방안 등이 포함될 계획이다.

6.4 기타공사

기타 공사는 지하철건설본부가 제시한 설계도면과 내역에 따라 건설업체는 시공만 담당하는 방식으로 북부도시고속도로와 병행건설되는 화랑로구간 4.56km(6-10공구)에만 해당되며 현재 실시설계중에 있다.

6.5 공사관리 계획

앞으로 4년간에 걸쳐 시행될 건설공사는 전면책임감리하에 시행될 예정이다. 설계·시공 일괄공사 구간에 대해서는 전면책임감리 업체를 92년말 이미 선정하여 입찰안내서 작성뿐만 아니라 기본설계 및 실시설계 과정에 적극적으로 참여토록 하고 있다. 대안 및 기타공사 구간에 대해서는 현재 실시설계중인 업체에서 감리를 맡을 예정이다. 책임감리업체에서는 앞으로 공정뿐만 아니라 공사시행시 발생하는 각종 엔지니어링 업무 및 품질 관련 업무까지 담당할 계획이며, 내실 있는 공사관리를 위하여 우리 기술이 부족한 분야에 대해서는 외국인 기술자를 투입보강하고 현장에서 공사이행 상태를 확인할 검사원을 다수 투입할 예정이다.

7. 맺는 말

서울특별시에서 교통난 해소를 위하여 역점사업으로 추진하고 있는 제2기 지하철건설계획과 지하철 6호선 건설계획을 토목기술자의 입장에서 조망해 보았다. 지하철 6호선으로 제2기 서울지하철 건설계획이 완료되며, 지하철 6호선이 개통되는 1997년 우리 서울특별시는 278km의 지하철망을 갖게 될 것이며 지하철이 분담하는 수송분담율도 현재 25% 내외에서 약 50%에 이를 것으로 전망된다.

제2기 지하철건설계획에 이어 총연장 약 120km에 이르는 제3기 지하철 건설계획도 현재 타당성 조사와 노선계획 단계에 있다. 제3기 지하철이 완성되는 2000년대에는 지하철의 수송분담율이 약 75%에 이르러 완전한 지하철 시대가 도달할 것으로 예상된다.

상당한 연장의 지하철이 건설되었고 또 건설중에 있으나 아직도 계획이나 설계기법에 있어서 기술축적이 충분히 되었다고 할 수 없다. 시설물을 운영하고 유지관리하면서 얻은 경험을 계획이나 설계시 충실히 반영해 보았는지 다시 한번 생각해 보아야 하며, 시공시에는 설

제시 의도하고 가정하였던 사항을 충분히 반영하고 확인해 보고자하는 노력이 있어야 할 것이다. 이러한 노력이 보다 편리하고, 안전하고 경제적인 지하철건설의 밑바탕이 될 것이다.

【 참 고 문 헌 】

1. 서울특별시 지하철건설본부, 서울지하철 6호선 기본설계 보고서, 1993. 3.
2. 서울특별시 지하철건설본부, 서울지하철 6호선 건설사업 교통영향평가서, 1993. 6.
3. 서울특별시 지하철건설본부, 서울지하철 건설현황, 1993.
4. 유태성, 우리나라 도시철도 건설과 운영현황, 대한토목학회지, 제40권 제4호, 1992. 8.