

운행선에 근접한 철도터널의 설계사례



오종양
한국철도기술공사
지반공학팀 과장



이용기
한국철도기술공사
지반공학팀 이사



구응희
한국철도기술공사
지반공학팀 상무

1. 서론

도심지에 새로운 지하철, 철도를 계획할때, 이미 운행되고 있는 노선에 근접되거나 터널에 의해 교차하는 경우 지층조건에 따른 터널막장의 안정성, 지하수 유입, 상부의 열차진동에 의한 추가응력과 변형 등에 대한 검토가 있어야 한다.

본 고에서는 선형계획상 민가가 밀집한 도심지역에 위치하고 현재 운행중인 경부선에 근접하며, 기존의 페터널과 중첩 및 교차하는 구간에 위치한 터널의 설계사례를 페터널의 처리방안과 운행선 및 주변의 주요 구조물에 근접하므로 인하여 추가적으로 고려되었던 내용을 위주로 소개하고자 한다.

2. 노선현황 및 터널계획

신설되는 터널(주령 제2터널)구간 주변의 노선현황은 그림 1과 같고 이를 간략히 소개하면 다음과 같다.

가야선은 사상~가야~범일간을 연결하는 노선으로 1944년 복선으로 노반이 조성되었으며 주령터널도 제1,

2터널로 경부선과 상·하선을 각각 분리 연결하여 운행되다가 1970년부터 상선은 폐선되었다.

신설 주령 제2터널은 경부고속철도의 운행계획 중 대구~부산구간의 기존선 활용계획에 의거 고속열차 종착역이 부산역 구내에 설치됨에 따라 부산에서 시·종착하

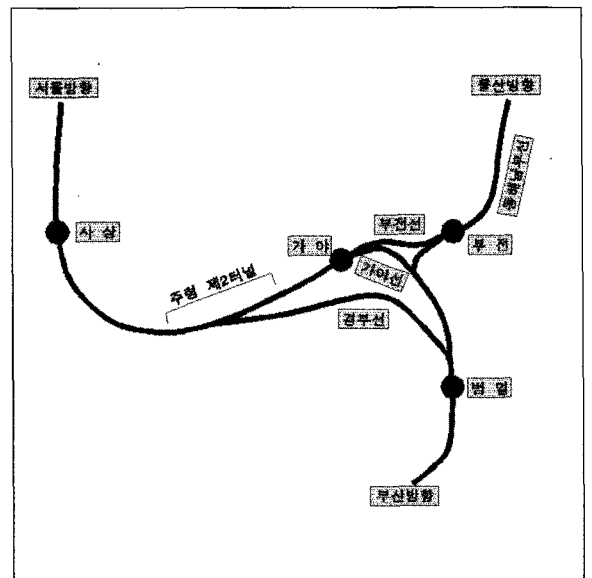


그림 1. 노선현황



그림 2. 터널구간 평면현황

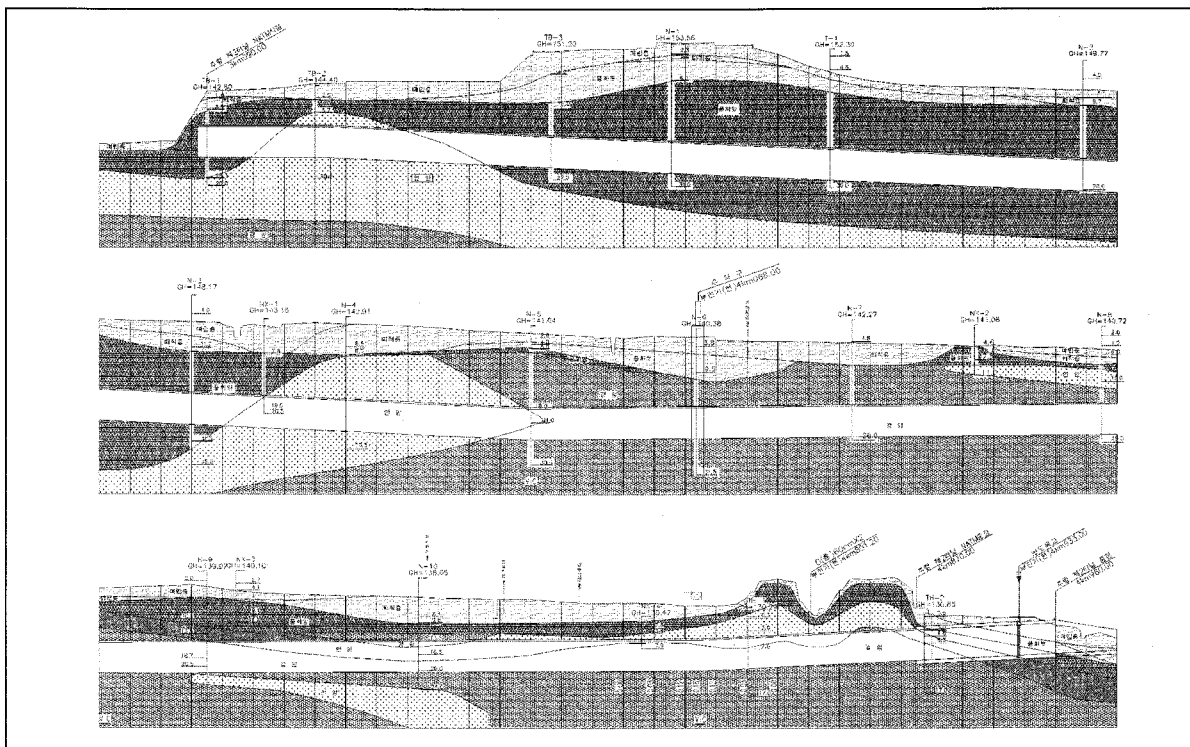


그림 3. 터널구간 지층종단도

는 경부선, 동해남부선 및 경전선의 열차를 부전역에서 분산취급하기 위하여 부전~사상간을 복선화하는 과정에서 기존의 폐선과 같은 용도로 사용하게 될 단선터널이다. 폐갱을 활용하는 방안도 검토대상이었으나 단면이 작고 노후화 되어 구조물로서의 기능을 기대하기 힘든 상태이며 폐터널의 시·중점부 노반에 민가가 위치하고 또한 경부선과의 사이에 고립지역이 발생함으로 인한 민원으로 경부선 운행선에 최대한 근접하여 터널을 계획하게 되었다.

신설 주령터널의 평면선형 계획은 그림 2와 같으며 굴착터널의 연장은 1,786m이다.

3. 지반조건

터널구간 조사지역 중점부 부근에는 일부 기반암의 노두가 소규모로 노출되어 있고 풍화대의 관찰도 가능한 상태에서 지표에서의 조사결과 기반암은 흑운모화강암으로 확인되었으며 시추결과와 시추공내에서도 흑운모화강암이 분포하였다.

시추조사는 민원발생으로 인하여 평면선형이 수차례 변경되는 관계로 여러차례 시행되었으며 중점부의 경부선을 횡단하는 구간부터는 시추장비의 접근이 어려워 단성파탐사 및 전기비저항탐사와 접근 가능한 지점에 대한 2개공의 시추조사 결과로 지질총단을 작성하였으며 그

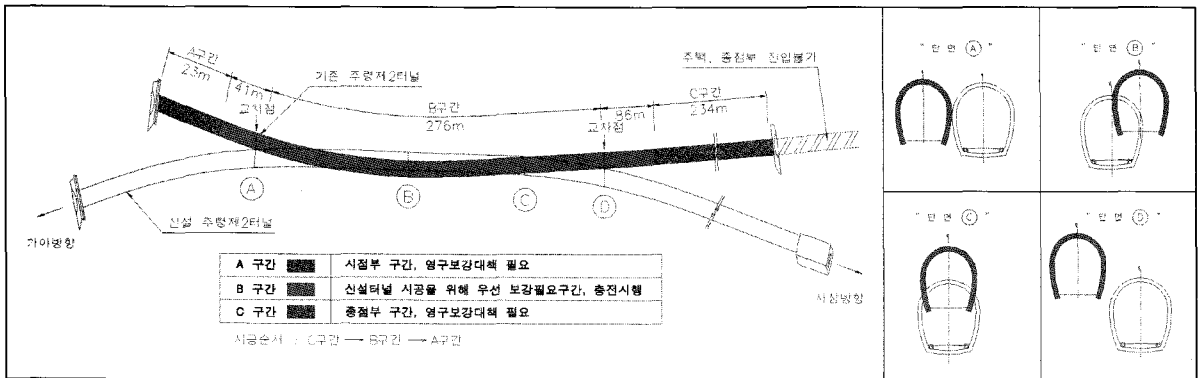
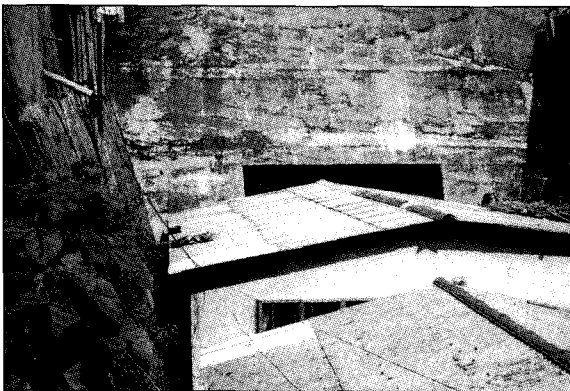


그림 4. 신설터널과 폐터널의 교차평면도 및 횡단면도



폐터널 입구(중점측)



폐터널 상부에서 바라본 전경

그림 5. 폐터널 중점측 주변 현황

결과는 그림 3에 나타내었다.

그림에 제시한 바와 같이 시점부는 일부 연암이 분포하나 대부분 풍화암대이며 종점부는 굴착구간이 대부분 연·경암으로 이루어져 터널연장에 비해 지층변화가 심해 구간별로 지층특성에 적절한 굴착방법과 보강방법 등의 검토가 필요하였다.

차해 있고 신설터널과 근접 및 교차하므로 신설터널의 굴착에 따른 안정성 뿐만 아니라 장기간 방치에 따른 기존 시설물들의 안전을 위해서도 별도의 폐갱처리 방안이 필요하였다.

페터널과 신설터널의 평면현황 및 주요지점에 대한 횡단면은 그림 4와 같으며 그림 5에 페터널의 종점부근 현황을 나타내었다.

4. 폐갱처리

4.2 시공방안

4.1 폐갱현황

그림과 같이 폐갱과 신설터널이 교차 및 중첩됨으로 인해 구간별로 다음과 같은 시공방안에 대한 검토가 필요하였다.

평면현황과 같이 신설노선의 좌측에 폐선된 주령 제2터널이 위치해 있다. 페터널의 상부에는 경부선이 횡단하고 있으며 교대 및 주택, 공장, 주유소 등의 시설물이 위

표 1. 폐갱 시공방안 검토

항 목	시공방안분류	적용 사유	비 고
단면형상	<ul style="list-style-type: none"> • 표준단면 • 페터널 포함단면 	<ul style="list-style-type: none"> • 페터널 포함단면으로 계획할 경우 <ul style="list-style-type: none"> - 중첩정도와 종단의 고저차로 인해 수개의 단면형상 필요 - 굴착구간이 연약대이며 저토피 구간으로 안정성 및 시공성 고려 - 내부보강방안 	
보강 및 충전	<ul style="list-style-type: none"> • 충전방안 • 내부보강방안 	<ul style="list-style-type: none"> • 내부보강방안으로 계획할 경우 <ul style="list-style-type: none"> - 정밀방수 시공 필요 - 폐공간이 되므로 습기에 의한 열화진행 빠름 - 별도의 배수처리방안 수립 필요 - 시공이 복잡하고 공기지연 - 유지관리가 어려움 - 공사비 면에서는 유리(4.2억:6.5억) 	A,C구간
충전정도	<ul style="list-style-type: none"> • 전체충전 • 부분충전(장래 굴착 부분 제외) 	<ul style="list-style-type: none"> • 부분충전으로 계획할 경우 <ul style="list-style-type: none"> - 거푸집 시공, 해체, 콘크리트 타설 등 시공복잡 - 신설터널 굴착시 안정성 확보 어려움 - 부분충전이 공사비는 유리하나 공기지연 	B구간
충전순서	<ul style="list-style-type: none"> • C→B→A구간 • B→A,C구간 	<ul style="list-style-type: none"> • B→A,C구간 순서로 충전할 경우 <ul style="list-style-type: none"> - 페터널 종점부에 민가가 밀집해 있어 작업공간 및 공사차량의 진출입이 불가능함 - 수직천공에 의한 방법은 작업공간의 확보 및 품질관리가 어려움 	B구간

주) **■** 표시는 적용방안

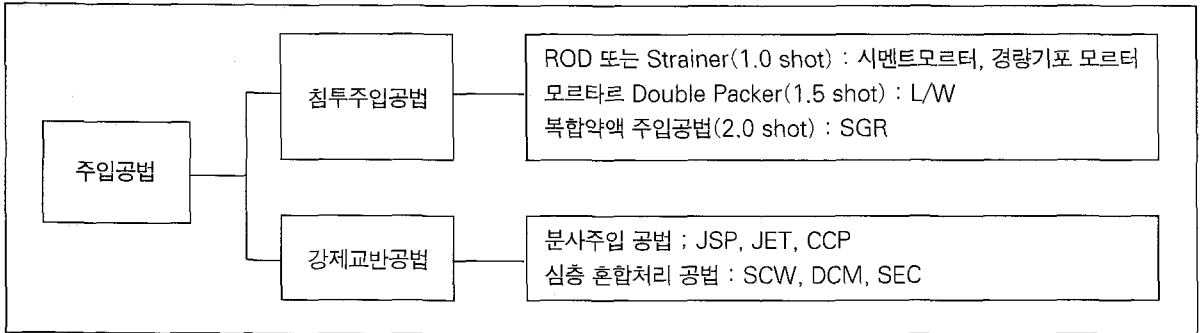


그림 6. 주입공법의 분류

4.2.1 배면주입 그라우팅

폐갱공동을 충전하기 전에 폐선된 후 상당기간 방치되었기 때문에 장래 상부 침하 및 신설터널 굴착시의 안정성을 확보하기 위하여 라이닝 배면에 대한 충전이 필요한 것으로 판단하였으며 이에 대한 검토내용을 기술하면 다음과 같다.

1) 배면주입공법의 분류

터널의 배면주입공법은 크게 침투주입과 강제 교반공법으로 분류할 수 있다.

주입재의 종류로는 시멘트모르타, 점토, 벤토나이트, 물 유리 계열에서 우레탄 등 고분자 계열의 것 까지 다양하다.

2) 침투주입공법 비교

강제교반 공법은 일반적으로 갱외에서 실시하며 토피가 낮고 지층이 열악한 조건의 터널 보강공법으로, 본 구간에는 폐터널의 전 연장에 걸쳐 대규모 보강이 필요하나 시공조건의 제약이 있으므로 침투주입공법을 적용하였으며 대표적인 침투주입공법을 비교 검토하면 다음과 같다.

본 설계에서는 시멘트모르타의 경우 주입관 막힘 등의 우려가 있어 시멘트페이스트 주입을 원칙으로 하였으며 폐갱하부는 지하수의 유동이 크고 배수구가 형성되어 있는 것을 고려하여 급결이 가능하도록 규산소다를 배합하여 충전하도록 계획하였다.

표 2. 침투주입공법 비교

구분	시멘트 주입공법	경량기포모르타 주입공법	L/W(SGR)주입공법
개요	<ul style="list-style-type: none"> 시멘트페이스트 또는 시멘트와 잔골재를 혼합한 시멘트 모르타를 터널 배면에 2~4kg/cm²의 저압으로 주입하여 배면 충전 	<ul style="list-style-type: none"> 모래와 시멘트외에 기포제를 추가 투입하여 역시 1~4kg/cm²의 저압으로 주입하여 배면 충전 	<ul style="list-style-type: none"> 시멘트와 벤토나이트, 물을 혼합한 A액과 규산(SGR약액)과 물을 혼합한 B액을 1.5shot 또는 2.0shot 방식으로 라이닝배면에 주입
특징	<ul style="list-style-type: none"> 시공이 간편함. 공사비 저렴 확실한 누수방지 효과 기대 곤란 	<ul style="list-style-type: none"> 침투성 우수 표면누수 방지 및 라이닝 열화방지 효과 있음 재료가 경량이므로 라이닝에의 하중 부담 적음 철저한 품질관리 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 배면에 주입하여 누수방지, 라이닝 보강, 노후화 방지효과 있음 겔타임 조절이 자유로움 고도의 기술을 요함

표 3. 공동충전 공법

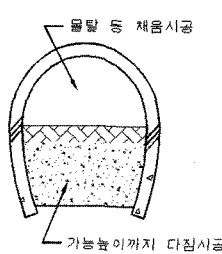
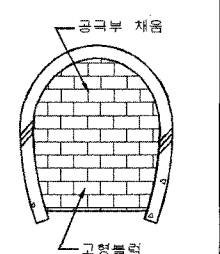
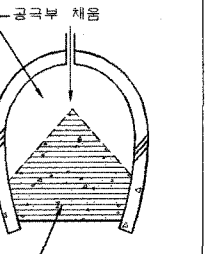
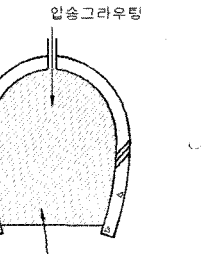
구분	다짐충전	고형블럭쌓기	충전물 직접투입	경량재 충전
시공개요	토사, 버력, 폐기물 등을 다짐충전. 천정부 공간 및 내부공간 몰탈 등으로 충전	고형블럭을 공동내에 쌓고 공극부는 몰탈 등으로 충전	상부에서 토사 또는 혼합처리토 (시멘트등 첨가)를 직접투입	상부에서 경량재(경량기포콘크리트 등을) 펌프로 압송하여 충전
개요도				
적용성	<ul style="list-style-type: none"> · 공사비 저렴 · 사토처리 적용가능 · 시공관리 용이 · 다짐기계 및 덩핑높이 고려 필요 · 상부는 별도충전 필요 · 장기 침하 및 수축으로 공동발생 우려 · 신설터널과 교차부 안정성 확보 불리 	<ul style="list-style-type: none"> · 시공확실 · 충전효과 크다. · 인력작업 요구됨 · 신설터널과 교차부 시공시 블록 이동 및 낙하 위험 · 공기길다. · 공사비 고가 	<ul style="list-style-type: none"> · 시공 용이 · 공사비 저렴 · 짧은 간격확보 필요 · 잔여공간 충전필요 · 장기침하 및 수축발생 가능성 큼 · 신설터널과 교차부 시공 안정성 불리 · 효과 불확실 	<ul style="list-style-type: none"> · 시공간단, 공기단축 · 충전효과 높음 · 충전정도 확인가능 · 신설터널 시공시 안정성 확보 유리 · 경량으로 작용압 작음 · 진동음 차단효과 · 공사비 고가

표 4. 폐갱채움을 위한 경량재 비교

구분	기포폴콘크리트	소일크리트(CLSM)	경량기포콘크리트
재료	· 스티로폼입자 · 시멘트	· S-CLSM+양질토사 · 기포제+고화재	· 시멘트+기포제 · 혼합제
단위중량	· 0.23~1.50 t/m ³	· 0.60~1.40 t/m ³	· 0.25~1.60 t/m ³
강도	· 7~70 kg/cm ²	· 1~100 kg/cm ²	· 7~80 kg/cm ²
특징	· 소규모 충전에 적용 · 재료분리(폼입자 부유) · 고강도(20kg/cm ³), 고유동성을 요하는 곳에는 작업이 불가능	· 유용토 및 잔토를 투입재로 사용할 수 있음 · 시공 간편 · 현장내 유용토 사용시 철저한 품질관리 필요	· 유동성이 좋아 충전율 높음 · 시공실적이 많고 품질관리 용이

4.2.2 폐갱충전공법 및 채움재

폐터널의 충전방법으로 표 3에 제시한 몇 가지 방안에 대해 적용성을 검토하였으며 본 구간의 현장상황 및 시공

성을 고려할 때 다음과 같은 조건을 갖춘 재료가 필요하였다.

- 소요의 강도를 확보할 것

- 신설터널과 중첩 및 교차하는 구간이 있으므로 경량 일 것
 - 유동성이 있어 장거리 압송이 가능할 것
 - 재료분리가 발생하지 않을 것
 - 시공후 건조수축으로 인한 뜬 공간이 발생하지 않을 것
- 검토 결과 공사비는 다소 증가할 수 있으나 시공성 및 안정성 측면에서 유리한 경량재 충전방안이 적정한 것으로 판단하였으며 경량재에 대한 비교는 표 4에 나타내었다.

이 중 유동성이 좋으며 소요강도를 발휘할 수 있고 재료분리 등의 문제가 없는 경량기포 콘크리트를 적용하여 폐갱을 충전하도록 계획하였다.

4.2.3 폐갱처리 계획

이상의 내용들을 검토한 결과 배면주입은 시멘트페이스트와 LW 그라우팅을 이용하여 갱도복구시 실시하도록 계획하고 폐갱충전은 경량기포 콘크리트를 적용하였으며 신설터널과 겹치거나 영향을 있는 B구간은 공동전체를, A,C구간은 하반에 대하여 굴착부력 및 석축자재 시공

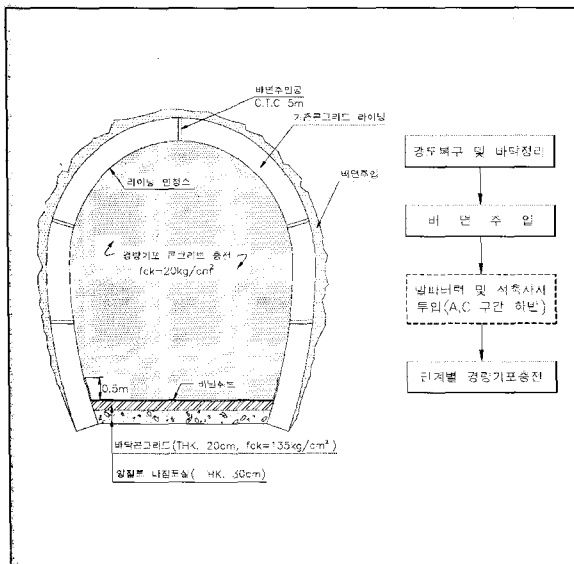


그림 7. 폐갱처리 계획도

후 상반에 대하여 경량기포 콘크리트로 채우도록 계획하였다.

5. 터널설계

5.1 굴착방법

터널굴착방법은 발파 및 기계굴착, 파쇄굴착, 특수굴착 방법으로 분류할 수 있으며 이를 나타내면 그림8과 같다.

이들 공법 중 프론트잭킹 굴착방법은 경부선 횡단구간에 적용성을 검토하였으나 횡단구간이 약 200여m의 곡선구간이며 발전기지를 설치할 부지여건이 적합하지 않고 Messer Shield 방법은 굴착구간이 풍화암 이상으로 공사비 및 공기면에서 불리하여 강관다단 그라우팅을 이용한 NATM 굴착방법을 주공법으로 결정하고 일부 지상보강이 가능한 구간은 지상보강 그라우팅을 적용하도록 계획하였다.

Shield 공법이나 개착, 횡방향 가반침 공법 등도 검토

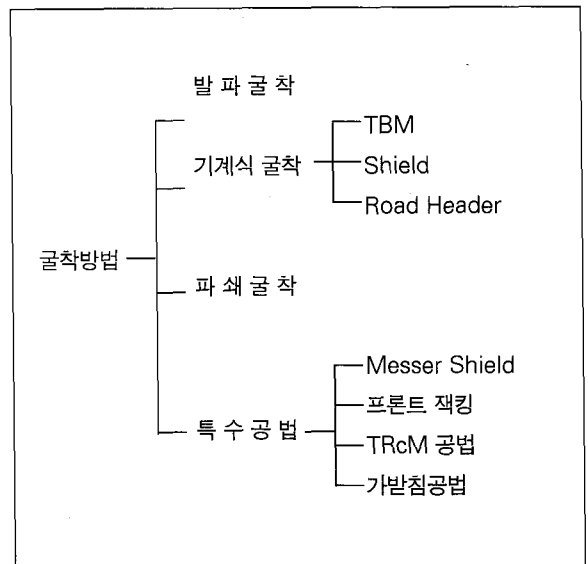


그림 8. 굴착방법의 종류

표 5. 보조공법 적용기준

적용조건	기 준
지 반 상 태	<ul style="list-style-type: none"> • 지반구성 불량에 따른 터널의 불안정성 억제 <ul style="list-style-type: none"> - 굴착대상구간이 풍화암 이하인 경우 - 굴착대상구간이 기반암이라도 상부가 불량할 경우. 기반암 상부 0.5D (D:터널직경)이내 토사층 등 존재할 경우 - 파쇄대 통과구간
토 피 고	<ul style="list-style-type: none"> • 상부토피고가 낮을 경우 터널안정성 및 주변침하억제 <ul style="list-style-type: none"> - 풍화암 토피고 1.0D 이하 - 기반암 토피고 0.5D 이하 • 상부에 주요 구조물 있을 경우 침하로 인한 민원 및 보상 등의 문제를 고려하여 상기조건을 2배수로 조정
지 하 수 위 투 수 계 수	<ul style="list-style-type: none"> • 지하수위가 높은 구간은 터널굴착시나 장래 지하수 저하에 따른 상부침하 및 암반절리면 강도저하, 지반이완 억제 <ul style="list-style-type: none"> - 지하수 위치가 상부 철도노반부에 가깝거나 토사층에 존재할 경우 - 굴착대상 지반이 연·경암이며 불투수성(K=1 10⁻⁵~10⁻⁶)에 가까울 경우는 제외 - 상부 구조물 조건 및 토피 고려
상 부 구조물 조 건	<ul style="list-style-type: none"> • 침하에 대한 구조물의 영향정도 및 중요성 고려 <ul style="list-style-type: none"> - 교량기초, 하수BOX 등 중요구조물에 대한 고려 - 건물노후화, 구조조건 고려 - 철도노반의 경우 장시간에 걸친 작은 침하는 보수 용이

대상이나 종단선형 및 지형, 지층특성상 적용성이 없는 것으로 판단하였다.

또한 평면에 나타낸 바와 같이 계획된 터널 주변에는 민가 및 경부선 등 시설물이 근접해 있어 시점부의 풍화암 구간에는 로드헤더를 이용한 굴착방법을 적용하고 종점측의 연·경암대 구간은 허용진동치를 고려하여 발파 및 파쇄굴착방법을 구간별로 달리 적용하도록 계획하였다.

5.2 보조공법

5.2.1 보조공법의 적용

본 구간의 경우 토피가 낮고 지반상태가 불량하며 상부에 운행중인 경부선 및 주택 등이 존재하여 터널의 굴착 및 장기적인 안정성 확보를 위해 보조공법의 주목적과 시공여건을 고려하여 지하수위가 높고 지상보강이 가능한

구간은 복합약액주입공법을 적용하고 그 외에 지상보강이 불가능하고 지반보강이 주목적인 구간은 강관다단 그라우팅을 적용하였다.

5.2.2 적용기준 및 배치

주령터널 구간에 대한 보조공법의 적용기준은 다음과 같이 정하였다.

주입범위는 지상보강공법과 갱내에 적용된 강관다단 그라우팅에 대해 각각의 이론적인 보강범위를 계획하고 구조물 근접구간의 경우 접근정도와 현장조건을 고려하여 계획하였다.

1) 지상보강 구간

지상보강 구간은 주입에 의해 점착력이 증가된 지반에 터널을 굴착할 때의 응력평형을 고려하여 보강범위를 결정하는 소성영역에 의한 방법을 기준으로 하였다.

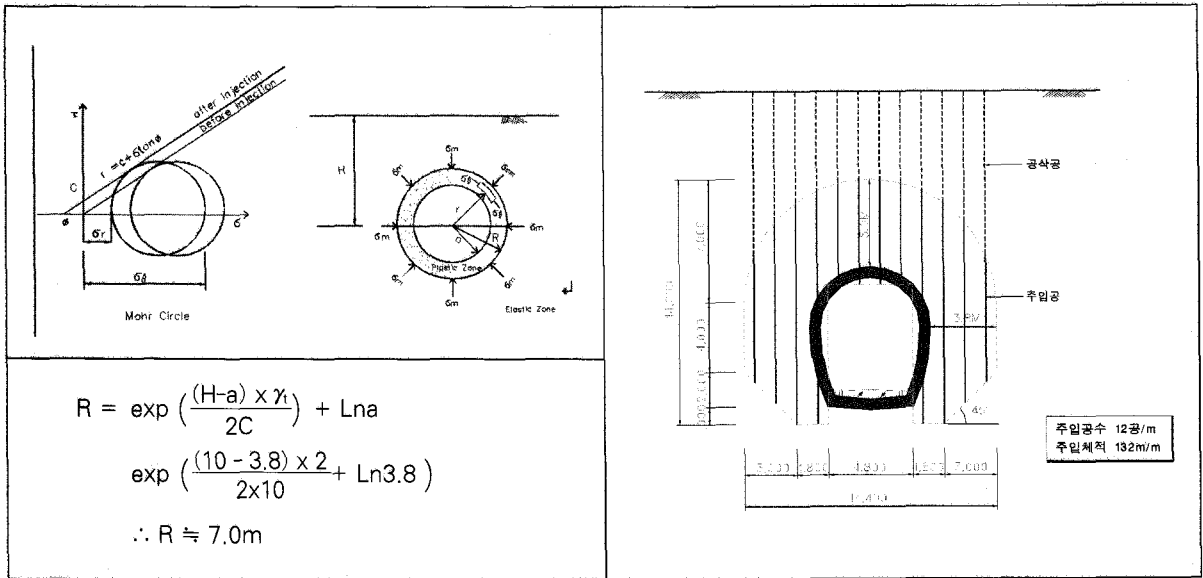


그림 9. 지상보강 그라우팅

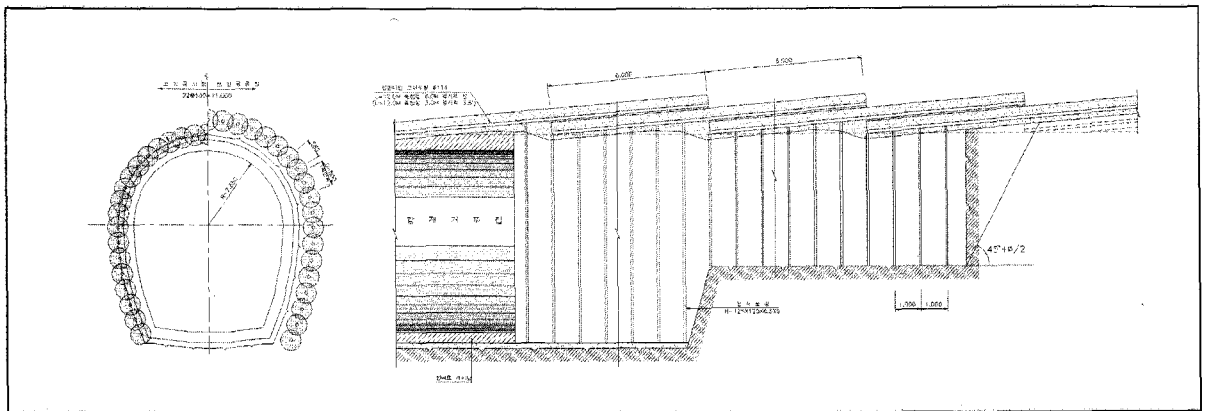


그림 10. 강관다단 그라우팅 보강

2) 강관다단 그라우팅(강내보강) 구간

강관다단 그라우팅 보강은 일반 강관다단(60.5, 4t)과 대구경 강관다단(114, 6t)으로 구분하고 풍화암대가 깊게 분포하는 구간은 대구경강관을 이용하여 상반굴착시 주동토압에 의한 예상과피면을 고려, 터널 하반까지 최소 2열 배치가 되도록 계획하고 강관하부에 강지보를 밀착하여 용접하도록 하였다. 지상보강이 실시된 구간과 터널상

부에 근접하여 풍화대가 분포하는 구간에는 상반 또는 120 범위에 일반강관다단을 적용하도록 계획하였다.

3) 교량기초 보강구간

교량기초가 근접해 있는 구간은 그림 11에 나타낸 기준과 현장에서의 시공조건을 고려하여 보강범위를 결정하였다.

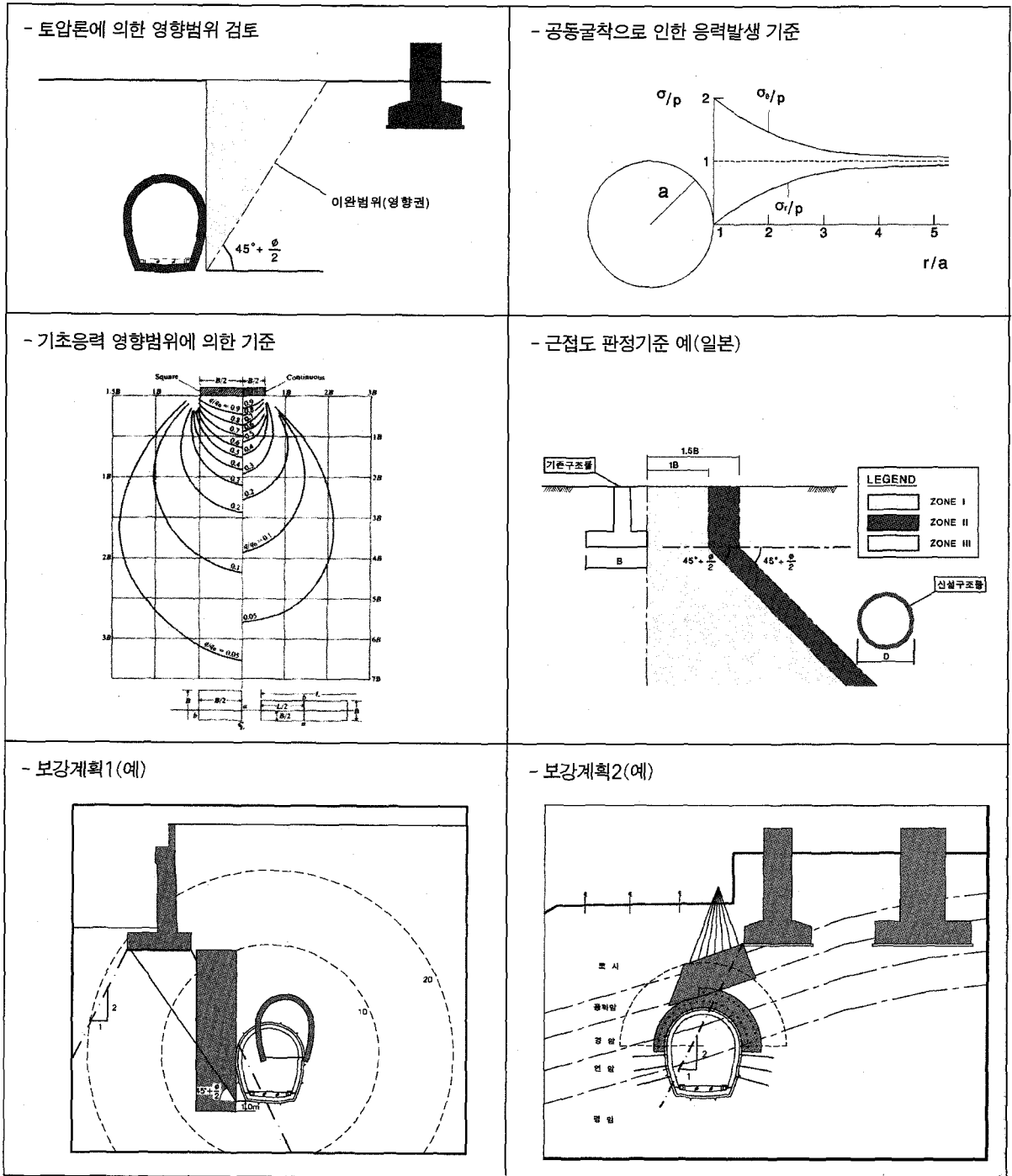


그림 11. 교각기초 보강기준 및 보강계획

5.3 전산해석

5.3.1 개요

본 과업구간의 안정성 평가는 시추 조사 및 실내 시험 결과와 기존 페터널, 경부선 운행선과의 근접정도 및 상부 구조물의 현황을 토대로 2차원 정적해석, 2차원 지하수 해석, 3차원 정적해석 및 열차주행에 따른 3차원 진동 해석을 수행하였으며 본 구간의 특수성을 고려한 주요 해석내용 및 결과를 정리하면 다음과 같다.

5.3.2 2차원 지하수 침투해석

터널의 배수방식, 지반조건 및 지하수위 등에 따른 터널내부의 발생 유입량을 산정하여 터널의 시공단계 및 유지관리단계에 대한 설계 적용치의 적정성 여부를 검증하였다. 이를 위해 지반조사결과와 터널 주변지반의 수리 및 투수특성을 고려하여 불리하다라고 판단되는 2개소를 대표단면으로 설정, 해석에 적용하여 전 터널구간을 대표하는 값으로 간주하여 유입수량을 산출하였다.

지하수 침투해석은 터널의 시공단계와 시공 후 사용단계로 구분하여 독립적으로 수행되었다.

터널의 시공단계해석은 굴착으로 인해 형성된 자유면에서 지중수가 터널로 유입되는 현상을 모델링하여 침투해석을 수행하였으며, 사용단계해석은 방수막 및 라이닝 콘크리트의 설치로 인해 터널 주변이 불투수 조건이 되며 지중수가 양측면에 설치된 배수구로만 유입되는 현상을 모델링하여 침투해석을 수행하였다.

2차원 지하수해석의 해석위치 및 현황은 표 6과 같으며 그림 12는 대표적인 지하수 해석 결과의 도시이다.

5.3.3 3차원 정적해석

본 구간에서는 중단선형이 터널의 양단에서 중앙으로 하향구배지도록 계획되었고 고속철도의 개통시기를 고려한 공기절감이 필요하여 배수 및 작업구로 이용하기 위한 수직구 및 횡갱을 계획하였다.

따라서 수직구, 횡갱 및 본선터널 연결위치와 경부선을 횡단하는 하수 Box의 하부를 통과하는 위치에 대해 3차

표 6. 2차원 지하수해석 위치 및 현황

구 분	해석위치 I (3km660)	해석위치 II (3km740)
현 황	지반의 지하수위가 비교적 높은 위치에 존재 풍화토층의 두께가 비교적 깊어 터널로의 유입수량이 타구간에 비해 많을 것으로 예상	

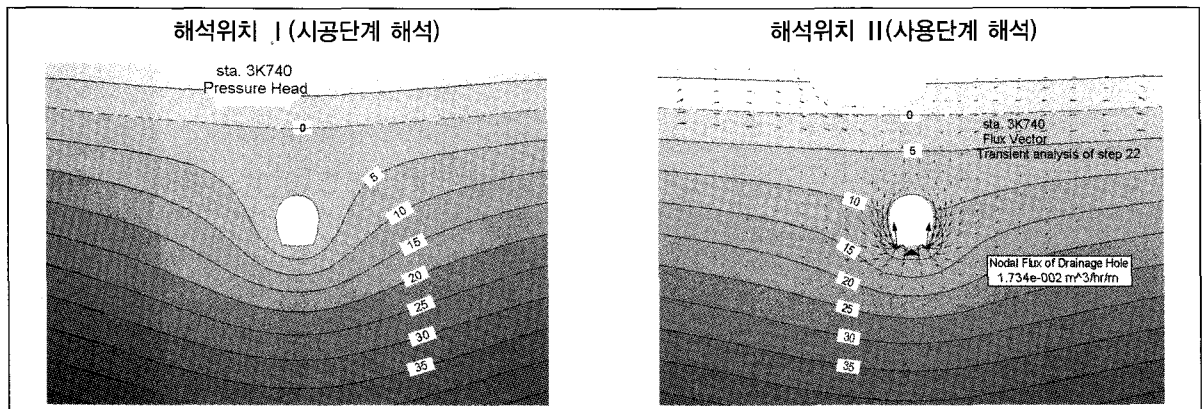


그림 12. 2차원 지하수해석 결과

표 7. 3차원 해석위치 및 현황

구분	해석위치 I (4km058)	해석위치 II (4km600)
현황	수직구, 횡갱 및 본선터널 연결위치	본선터널천단 4.87m 상부에 하수Box 횡단

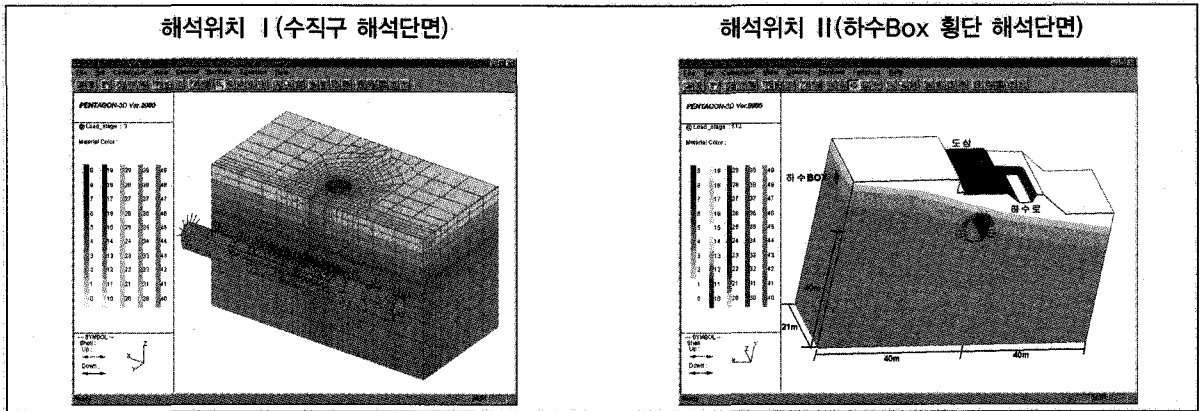


그림 13. 3차원 해석 결과

원 정적해석을 수행하였으며, 이를 통해 수직구 연결부분의 시공시 안정성 확보 여부 및 하수 Box의 응력, 침하값토를 수행하였다.

3차원 정적해석의 해석위치 및 현황은 표 7과 같으며 그림 13은 해석 결과의 예이다.

5.3.4 열차의 주행속도를 고려한 3차원 동적해석

비교적 가까운 거리에 진원을 지나는 위치에 구조물이 시공될 경우, 진원으로부터 전파되는 지반진동은 인접구조물에 추가적인 응력과 변형을 유발한다.

본 과업구간의 경우 터널천단으로부터 상부 경부선 노반과의 이격거리가 1~2D 정도로 비교적 낮아 열차에 의해 유발되는 지반진동이 신설터널의 응력·변형거동에 영향을 미칠 것으로 판단하였다. 따라서, 열차의 주행에 의해 유발되는 지반진동이 신설터널에 미치는 영향 정도의 평가를 위해 열차의 주행속도를 고려한 3차원 진동해석을 수행하였다.

해석시 이동하중은 LS-22 표준활하중을 적용하였고

열차의 주행속도는 기존경부선의 최대설계속도가 140km/hr인 것을 고려하여 이 값을 동해석에 적용하였다.

3차원 동적해석의 해석위치 및 현황은 표 8과 같으며 그림 14는 해석 결과의 예이다.

5.4 계 측

5.4.1 개요

본 터널구간의 상부에는 경부선 및 가야선이 운행중에 있고 주택과 교각 및 옹벽, 하수BOX 등 전 구간에 근접 시설물이 위치해 있다. 따라서 본 장에서는 일반적인 계측항목 외에 본 구간에 특별히 도입된 유지관리 및 별도 관리 계측항목에 대해 언급하고자 한다.

5.4.2 경부선 노반침하측정

경부선과 인접한 구간에 3차원 광학자동측정기를 이용하여 경부선의 노반에 10~20m간격으로 반사타겟을 설

치고 터널굴착진행에 따라 수시로 3차원적 변위를 측정, 계측종합운영실에서 확인할 수 있도록 하였으며 지중 및 지표침하가 과대하게 발생될 경우 경부선 통과구간의 전·후 열차의 제어가 가능한 지점에 경보시스템을 장치하여 안전운행이 될 수 있도록 계획하였다. 또한 공사완

료 후에도 필요에 따라 유지관리차원에서 장기적으로 측정 가능하도록 하였다.

한편 레일 및 노반침하에 대한 관리기준은 국내 철도청 기준과 일본 신간선 궤도정비 기준을 참조하여 아래와 같이 정하였다.

표 8. 3차원 열차주행 해석 위치 및 현황

구 분	해석위치 I (3km500)	해석위치 II (4km640)
현 황	풍화암 구간에 위치, 경부선과의 이격 거리 16.0m	직상부 풍화암, 연·경암 내에 위치, 경부 선과의 이격거리 7.96m

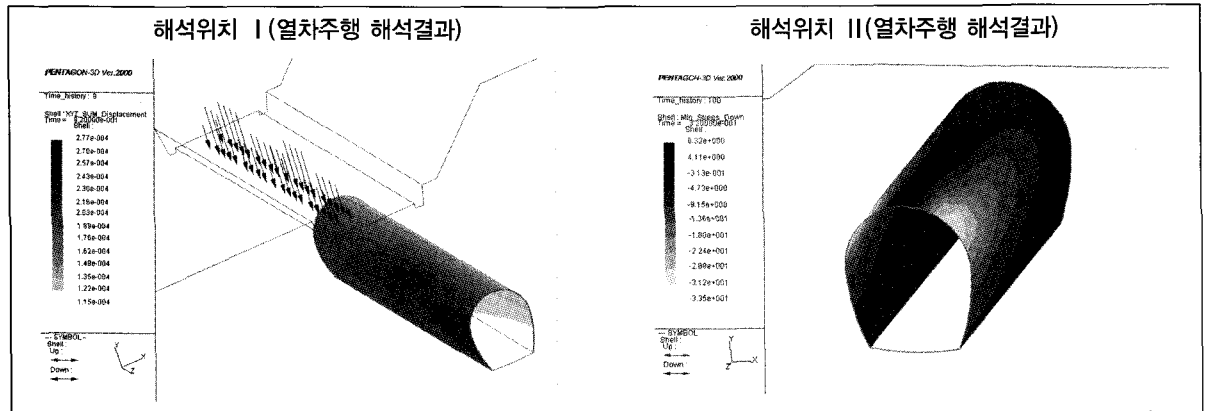


그림 14. 3차원 열차주행 해석 결과

표 9. 본 구간의 레일변형 및 지표침하에 대한 관리기준 및 계측도

구 분	정적기준 (mm)	동적기준 (mm)	조치방법	계 측 도
궤 간	+10 -2	+10 -5	- 책임기술자에게 보고 - 경보조치	
수 평	7	11	- 굴착을 중지하고 열차 운행 제한 및 현장조사	
면 마춤 (mm/10m)	7	13	- 원인조사 후 보강 판단시 보강	
줄 마춤 (mm/10m)	7	13	- 변위수렴여부 30분 간격으로 측정	
노반침하	15mm이상 침하		- 열차서행(3km/h)	
경보기준	25mm이상 침하		- 열차정지 조치	

* 변위측정 Target 설치간격
- 3km460 ~ 4km480, 4km770 ~ 4km870 : 20m 간격
- 4km480 ~ 4km770 : 10m 간격(행단구간)

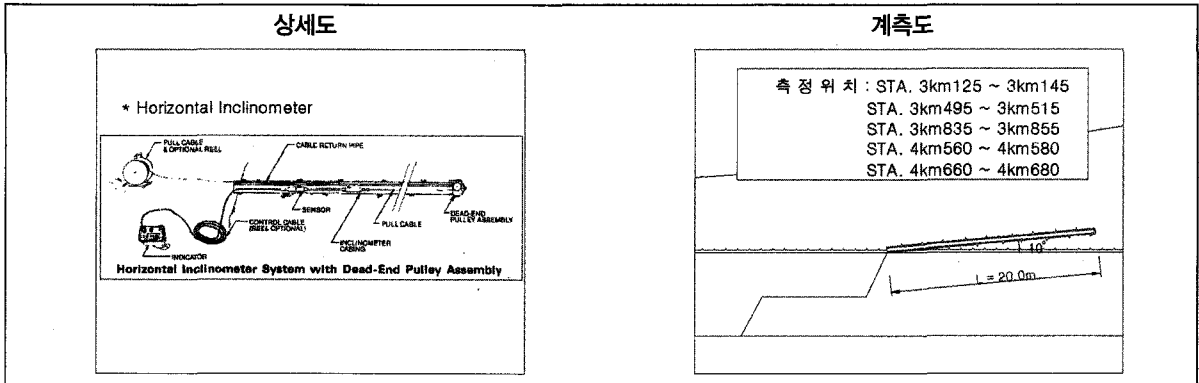


그림 15. 갱내 선형천단침하 계측도

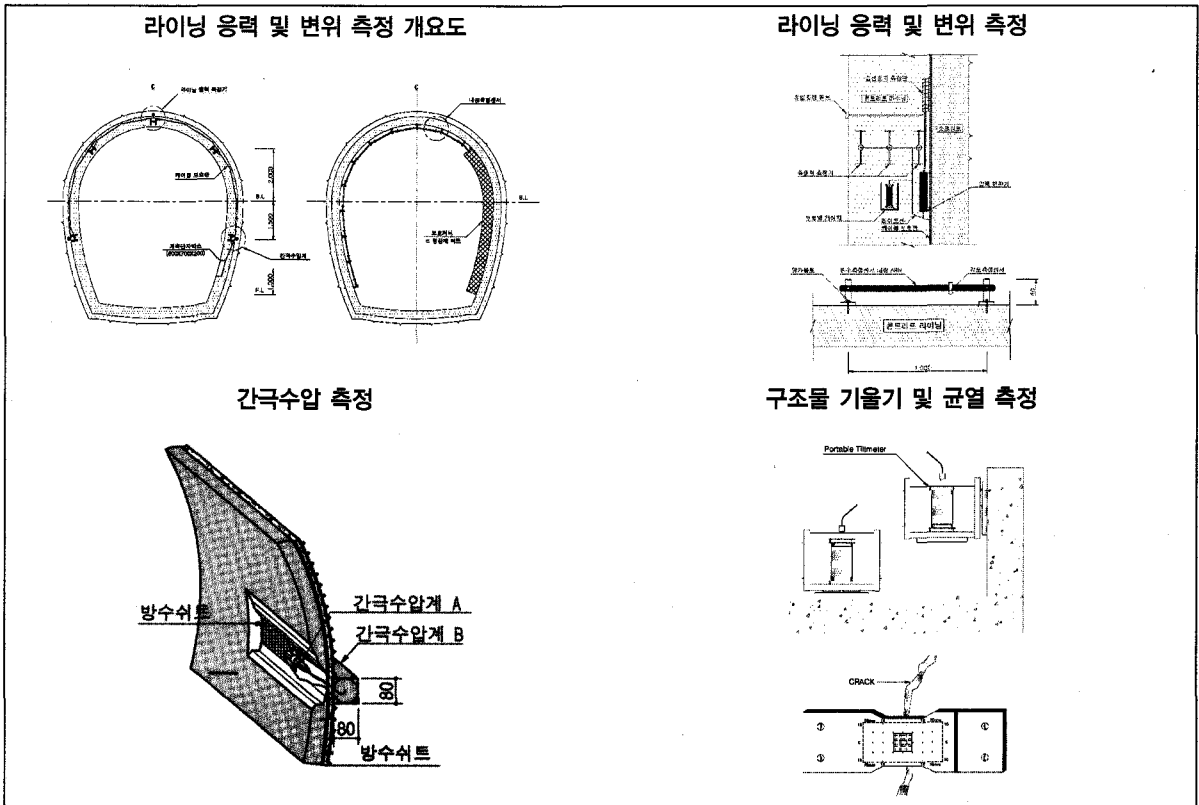


그림 16. 유지관리 계측도

5.4.3 갱내 선형천단침하측정

갱내 선형천단침하는 지층이 불량하거나 토피가 낮고 상부 주요시설물이 위치해 있는 구간에 굴착전 막장전방

의 침하를 관찰할 목적으로 계획하였으며 상세도는 그림 15와 같다.

5.4.4 유지관리 계측

전술한 계측항목 외에 장기적인 안정성 확인이 요구되는 위치는 유지관리의 효율성과 안전사고방지를 목적으로 다음과 같은 유지관리 계측을 시공 후에도 도입할 수 있도록 계획하였다.

6. 맺음말

계획 및 설계진행 과정에서 발주처를 비롯하여 자문위원을 포함한 설계와 감리 및 시공에 관련된 모든 분들이 많은 관심을 가지고 검토를 한 끝에 설계가 완료되고 현재 시공 중에 있다.

본 터널은 도심지의 운행선 하부에 근접하여 폐갱과 교

차하는 터널의 특성으로 인해 일반적인 설계에서 부딪히기 힘든 문제들을 해결하여야 했다. 이러한 문제로는 폐갱에 대한 처리문제와 시공순서, 발파와 파쇄굴착방법의 적용, 경부선 및 교대와 주벽이 인접한 구간에 대한 보조공법의 적용 및 시공방안, 현장조건을 감안한 계측, 수직구의 부지 및 단면선정과 시공방법, 오피수 처리를 위한 부지확보 등 어느 하나도 손쉽게 결정할 사안이 없다보니 설계기간 동안 최선을 다하였음에도 부족함이 있을 것으로 판단된다.

여러 선·후배분들이 혹여 유사한 여건에 터널을 계획할 경우 본 내용이 다소나마 참고가 되기를 바라고 향후 보다 효과적이고 개선된 방안들이 모색되는 계기가 되었으면 하는 바램이다.