

신갈단층대와 신갈저수지 하부를 통과하는 고속철도터널 설계사례



이일우
(주)삼보기술단
지반부 대리



안성주
(주)삼보기술단
지반부 차장



김동현
(주)삼보기술단
기획실 전무



최두진
현대산업개발(주)
토목설계팀 부장



이성한
현대산업개발(주)
토목설계팀 부장



김선곤
현대산업개발(주)
상무

1. 서론

증가하는 고속철도 수요와 수도권 철도 선로용량 확충을 목적으로 “수도권 고속철도(수서~평택) 건설공사”가 계획되었으며, 건설이 완공되면 서울 강남, 강동권 및 수도권 동남부 지역으로 고속철도 수혜지역이 확대될 것으로 기대된다.

본 과업구간인 수서~평택 제4공구는 총연장 61.08km인 울현터널의 일부구간으로 연장이 약 5.1km인 복선터널구간이다. 본 구간은 경부고속철도 2단계 구간에서 문제가 되었던 양산단층과 같이 대규모 단층인 신갈단층대의 영향권에 속하며, 신갈저수지 하부를 통과하는 위험요소가 내재된 공사구간이다. 따라서, 본 고에서는 수도권 고속철도(수서~평택) 제4공구 건설공사 기본설계에 적용한 여러 사항들 중 첫째, 신갈저수지 하저 통과시 터널의

안정성 확보방안과 운용중 저수지 수위저하 등의 환경영향 최소화 방안, 둘째, 신갈단층대 규모와 특성파악 및 터널굴착중 단층대 조우시 최적의 굴착공법과 보강공법 설계, 셋째, 호남고속철도와 동시 개통을 목표로 공사를 완료할 수 있는 공기단축방안에 대하여 중점을 두어 소개하고자 한다.

2. 현황

2.1 노선현황

본 계획노선은 수서~평택을 연결하는 “수도권 고속철도(수서~평택) 건설공사” 9개 공구중 제4공구로서 행정구역상 경기도 용인시 기흥구 ~ 화성시 동탄면에 위치한다.

신갈단층대와 신갈저수지 하부를 통과하는 고속철도터널 설계사례

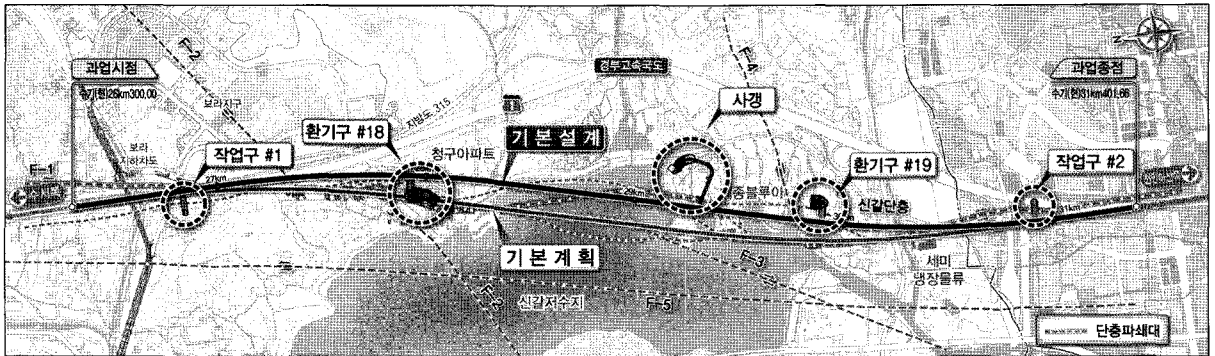
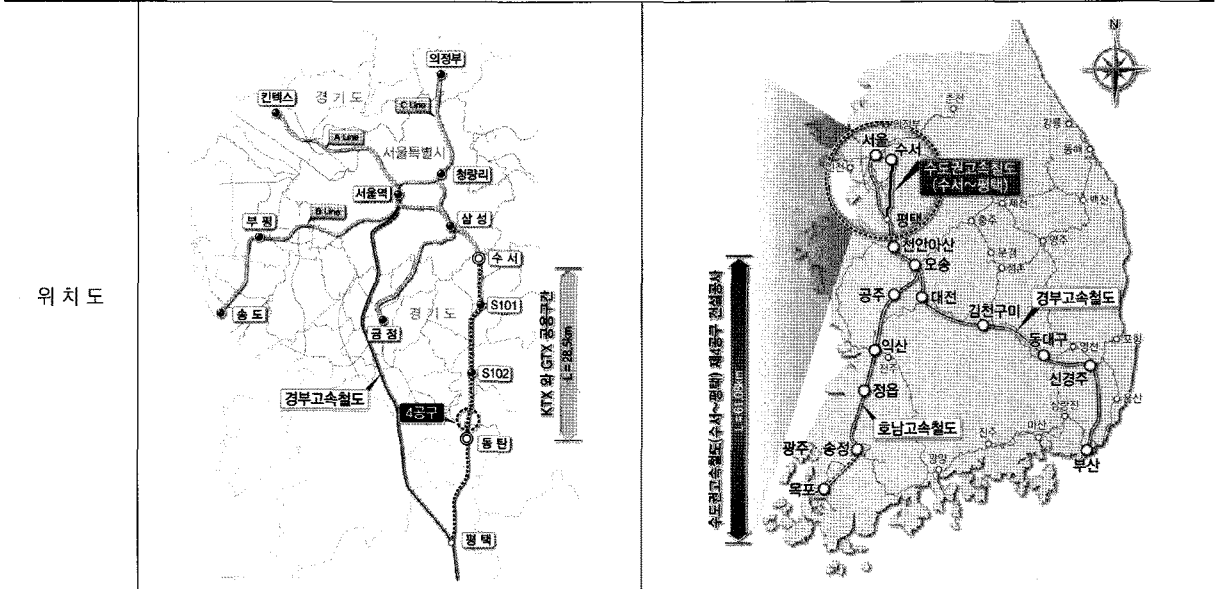


그림 1. 설계구간 노선 현황도

표 1. 수도권 고속철도(수서~평택) 제4공구 사업 개요

구분	내용
행정구역	·경기도 용인시 기흥구 ~ 경기도 화성시 동탄면
위 치	·수기(현)26km300~수기(현)31km400.00



기본계획 노선은 신갈저수지 하부 통과구간이 1,360m이며, 수직구 2개소를 설치하는 것으로 계획되었으나, 기본설계에서는 저수지 하부를 통과하는 터널의 연장을 축소하여 저수지 영향을 최소화하고, 단층대와의 조우를 최

대한 피하기 위하여 신갈저수지 통과구간의 노선을 일부 수정하여 하저 통과구간을 1,080m로 축소하였다. 또한, 목표공기를 준수하기 위하여 작업용 수직구 2개소와 사갱을 추가 설치하여 공사기간을 단축하였다(그림 1).

2.2 지질 및 지반현황

본 과업구간의 지질현황은 논농사가 발달된 넓은 층적층으로 하상퇴적물이 쌓여있고 그림 2와 같이 기반암은 주로 흑운모편마암과 규장편마암으로 구성되어 있다. 1970년대 경부고속도로와 신갈저수지가 건설되고 주변이 도시화 되면서 예전 지형을 확인하기 어려우나 시대별 고지형도를 입수 분석하고, 음영기복도와 위성영상 분석 및 광역선구조 분석을 통하여 상세 선구조를 분석한 결과 총 35개의 선구조를 발견하였으며, 노선과 교차하는 선구조는 9개로 분석되었다.

또한, 과업구간을 대상으로 시추조사, 물리탐사, 각종 현장시험 및 실내시험을 실시하여 지층의 분포상태, 토질 및 암반의 특성을 파악하고 설계 및 시공에 필요한 기초 자료를 수집, 분석하여 경제적이고 합리적인 설계를 유도 하였다.

지반조사 결과 노선과 거의 평행하게 신갈단층이 위치하고 있으며 다수의 파생단층이 노선과 교차하고 있다. 터널 계획고 구간의 암반은 주로 IV~V등급으로 구성되어 있으며, 단층대 구간 중 단층토사 및 각력의 함량이 84~100%를 이루며 터널 계획고 하부까지 분포하는 구간이 출현하여 매우 불량한 암반상태를 보이는 구간이 존재하였다(표 2).

2.3 신갈단층대 상세 분석

신갈단층은 추가령 단층대의 Riedel shear로서 연장 130km의 대규모 단층대이며(그림 3), 생성과정은 표 3과 같다.

터널의 최적노선 선정을 위해 신갈단층과 그 파생단층에 대한 상세분석을 수행하였다. 단층의 경사 및 규모 확인을 위해 고해상도의 대심도 탐사방법인 Vibroseis 반사법탐사를 신갈저수지에 인접한 육상구간 2개소에서 수행

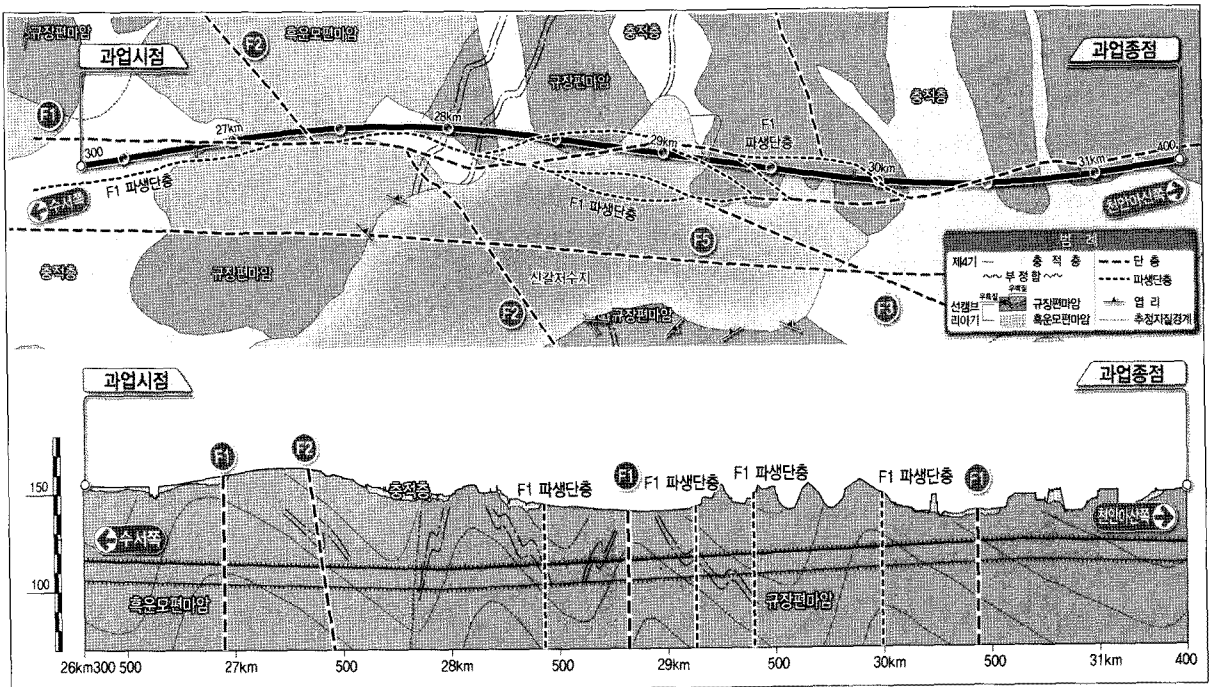


그림 2. 지질 종평면도

표 2. 단층대 시추코어 사진


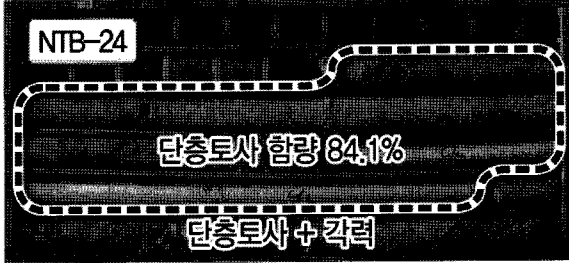
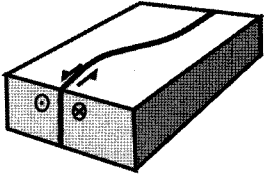
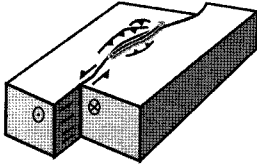
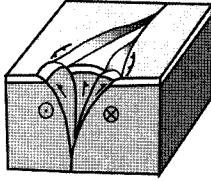
시추코어 사진	
 <p>NTB-8 단층토사 함량 100%</p>	 <p>NTB-24 단층토사 함량 84.1% 단층토사 + 각력</p>
<p>• 수기(현)27km400 지점에 위치한 F1, F2 단층교차 지점 으로 코어 전 체구간이 단층토사 및 각력으로 구성됨</p>	<p>• 수기(현)29km300 지점에 위치한 F1 단층 지점으로 단층 토사 함량이 84.1%, 단층토사 및 각력으로 구성됨</p>



그림 3. 광역지체 구조

표 3. 파생단층 형성과정

1단계	2단계	2단계 횡단모식도
		
주향이동단층 발생	파생단층의 형성	플라워단층의 형성

하였으며, 그 결과 경사각이 70~85°인 고각의 소규모 파생단층이 다수 발견되었다. 신갈저수지 하상에서는 3차원 전기비저항 탐사로 노선통과구간에 대해 입체적 형상

으로 단층대를 파악하고자 하였으며, 탐사결과 남북방향으로 폭 15~30m인 다수의 단층이 분포하는 것을 확인하였다.

표 4. 신갈단층 상세분석

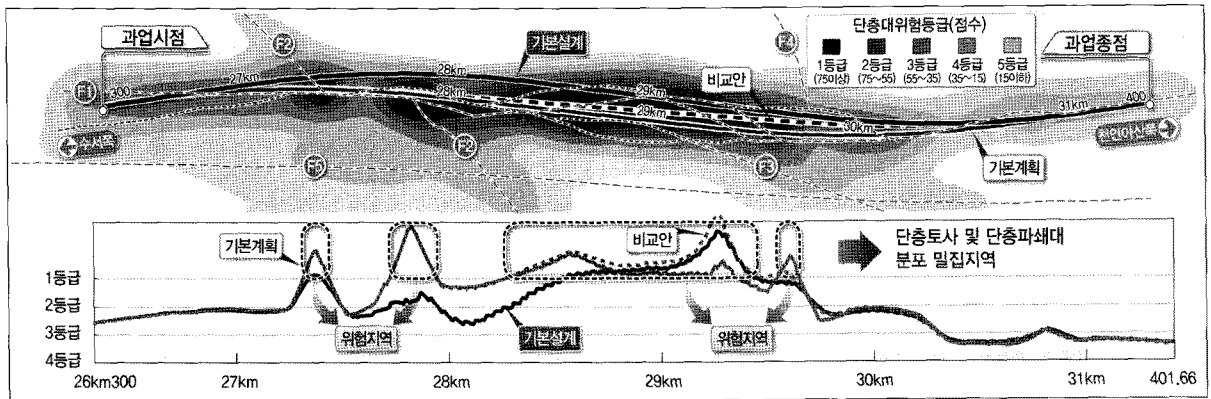
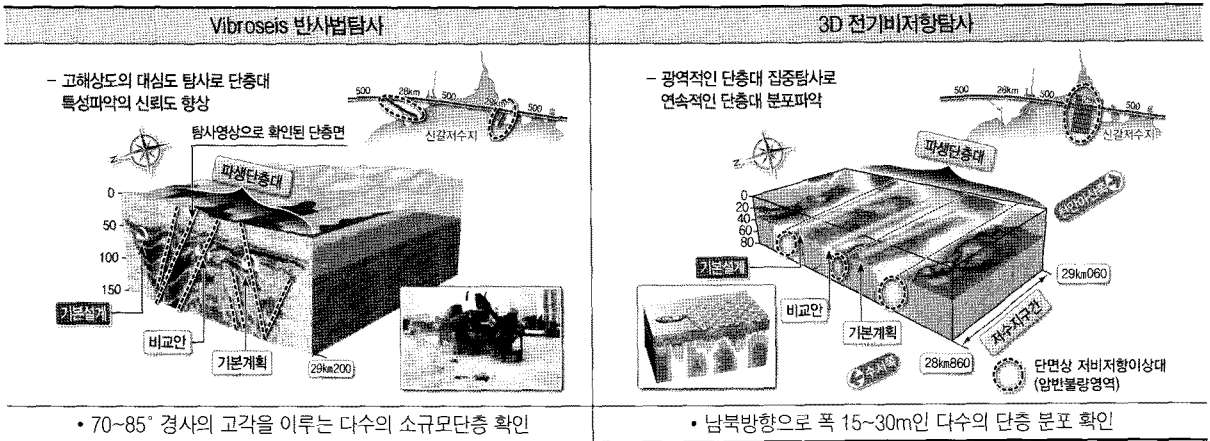


그림 4. 단층대 위험도 분석

시추조사 및 물리탐사결과를 바탕으로 그림 4와 같이 과업구간의 단층대 위험도분석을 실시하여 위험도 1등급 통과구간을 줄일 수 있는 최적 노선을 계획할 수 있었다.

2.4 암반등급 산정

암반등급은 시추조사를 통한 시추코어와 물리탐사 자료의 상관관계를 분석한 후 지구통계학적 검증을 수행하여 산정하였다. 암반등급 분포는 IV등급 82.4%, V등급 14.9%로 IV등급이 주를 이루며 신갈단층대의 영향으로

주단층 및 파생단층이 다수 존재하는 것으로 나타났다.

3. 저수지 하저를 고려한 터널계획

3.1 단면계획

과업구간에 위치한 신갈저수지는 유역면적이 5,300ha 이고, 저수량이 1,166만³에 달하는 대형저수지로서 서식 동·식물의 환경생태학적 가치 뿐 아니라 농업용수, 관

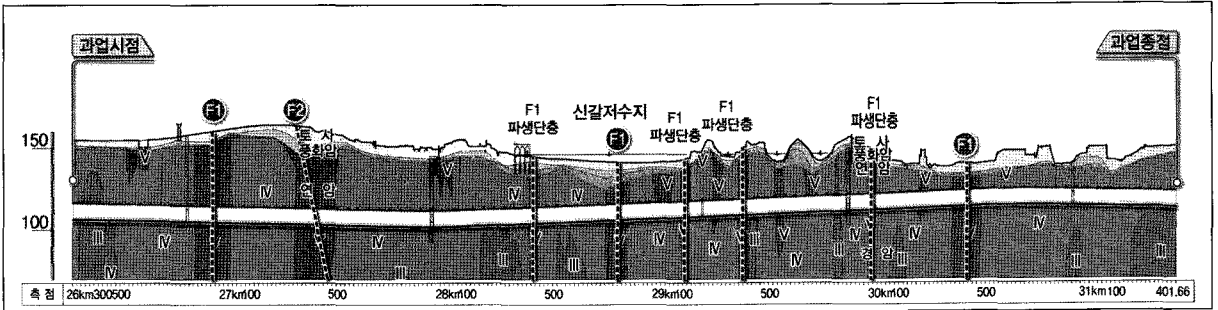


그림 5. 터널구간 암반등급도

표 5. 단면계획 비교검토

구분	일반구간		하자구간	
표준단면				
구분	기본계획	기본설계	기본계획	기본설계
① 대피로폭	1,582mm	1,682mm	1,582mm	1,682mm
② 주배수관	Ø200	Ø300	Ø200	Ø300
③ 횡방향배수관	C.T.C 10m	C.T.C 10m	미적용	C.T.C 10m
④ 방수막	터널상부 방수막 적용	터널상부 방수막 적용	터널상부 방수막 적용	전주면 방수막 적용

광자원 및 공원으로서의 가치도 높다. 따라서, 터널굴착으로 인한 신갈저수지 영향을 최소화하기 위한 방안에 중점을 두고 단면을 검토하였다.

신갈저수지 하자 통과구간이 1km이상인 점을 감안하여 주배수관의 직경을 Ø200에서 Ø300으로, 배수구 폭원을 300mm에서 400mm로 확대하여 급격한 용출수의 증가에도 배수관경 부족으로 인한 문제점이 발생하지 않도록 하였다. 또한, 화재시 피난성능 향상을 위해 대피로 폭

을 1,582mm에서 1,682mm로 확대하였으며, 유지관리자의 의견을 반영하여 집수정 간격을 50m에서 30m로 축소하였다.

신갈저수지 하자구간은 전주면 방수터널을 적용하여 터널 내부로의 지하수 유입을 방지하였으며, 터널 라이닝에 과다 수압이 작용하지 않도록 터널 측벽에는 감압밸브를 설치하고, 인버트에는 양압력 저감을 위한 Ditch와 맹암거를 설치하였다.

표 6. 기본설계 단면 개선 사항

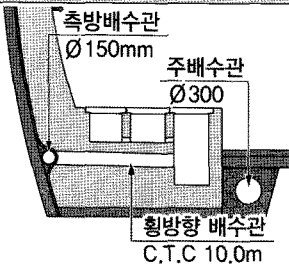
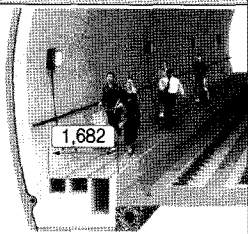
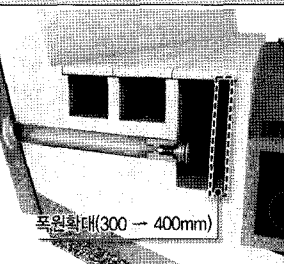
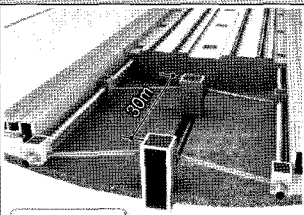
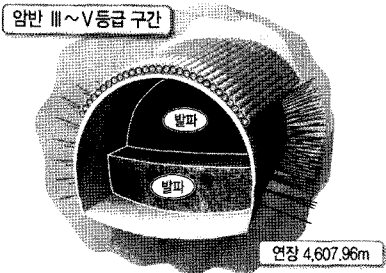
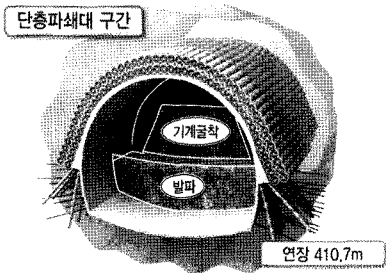
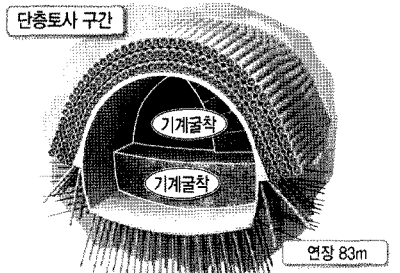
주배수관 규격 확대	대피로폭 확대	배수구 폭원 확대	집수정 간격 축소
			
<ul style="list-style-type: none"> ·장대터널 배수용량 확보 (Ø200 → Ø300) 	<ul style="list-style-type: none"> ·1.6m 이상으로 2인 대피가능 (NFA 기준) 	<ul style="list-style-type: none"> · 배수구 폭원확대 (300mm → 400mm) 	<ul style="list-style-type: none"> ·유지보수 담당자 의견 반영 맨홀간격(50m → 30m)

표 7. 터널 굴착 공법 계획

상·하반분할 굴착	링컷 굴착	CD 굴착
		
<ul style="list-style-type: none"> ·암반 III~V등급 구간 ·육상PD-3,4,5, 하저SP-4,5패턴 적용 	<ul style="list-style-type: none"> ·단층파쇄대 구간 ·육상PD-5-1, 하저SP-5-1패턴 적용 	<ul style="list-style-type: none"> ·단층토사 구간 ·육상PD-5-2, 하저SP-5-2패턴 적용

3.2 터널굴착공법 계획

본 과업구간은 단층대와 평행하게 노선이 위치하며, 파생단층의 영향을 받아 노선 전구간이 단층의 영향권 내에 있는 것으로 분석되어 터널굴착공법은 암반등급과 단층대의 영향 정도에 따라 표 7과 같이 암반 III~V등급인 일반구간에는 상·하반분할 굴착, 단층파쇄대 구간에는 링컷 굴착을 적용하고 단층토사 구간에는 CD 굴착 공법 및 상·하반 기계굴착을 적용하였다. 특히, 단층대는 일반 단층파쇄대 구간과 단층이 전부 토사인 단층토사 구간으로 구분하여 굴착 공법을 계획하였다.

단층대 조우시 안정성 확보를 위한 보조공법으로는 천

단부 및 굴진면 보강을 위하여 대구경 이중강관을 적용하였으며, 터널의 초기변위 억제를 위하여 고강도 슛크리트, 전단력 및 긴장력을 향상시킨 확장형 록볼트를 사용하여 록볼트와 지반사이의 아칭효과를 향상시켰다. 또한, 지반이 불량한 단층토사 구간에는 측벽에 각부보강을 적용하여 터널굴착시 지지력을 확보하였고, 인버트 하부에 마이크로 파일을 설치하여 하부지반을 보강하였다(표 8).

3.3 발파설계

본 과업구간은 전체 연장 약 5,100m 중 저수지 하부 통과구간이 1,080m이고, 노선을 따라 폭 30m 이상인 대

표 8. 단층파쇄대 굴착보조 공법

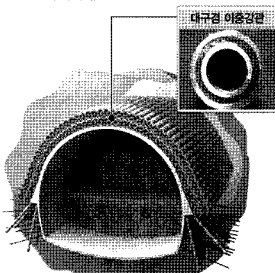
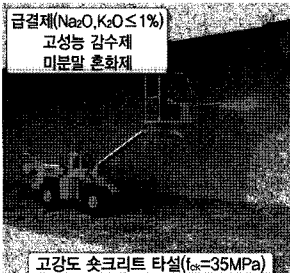
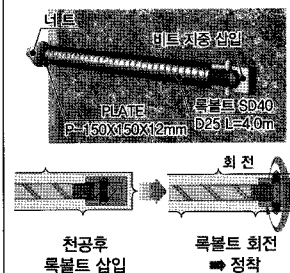

대구경 이중강관보강	고강도 슛크리트	확경형 록볼트	터널 하부 보강
 <p>대구경 이중강관</p>	 <p>금결재($\text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O} \leq 1\%$) 고성능 감수제 미분말 혼화제</p> <p>고강도 슛크리트 타설($f_{cc} = 35\text{MPa}$)</p>	 <p>네트</p> <p>비트 치중 삽입</p> <p>PLATE 록볼트 ØD40 P-150X150X12mm D25 L=40m</p> <p>회전</p> <p>천공후 록볼트 삽입</p> <p>록볼트 회전 → 정착</p>	 <p>각부강관보강</p> <p>인버트</p> <p>마이크로파일</p>
<p>·이중강관 1열이 일반강관 강성의 1.5배 → 안정성증대</p>	<p>·스딕리트 강도 조기 발현 → 터널의 초기변위 억제</p>	<p>·전단력 및 긴장력 증대 → 아치기능 향상</p>	<p>·인버트, 각부보강, 마이크로 파일 → 하부안정성 확보</p>

표 9. 지반조건을 고려한 발파설계

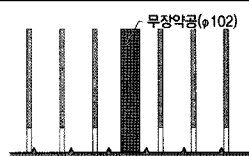
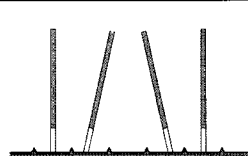
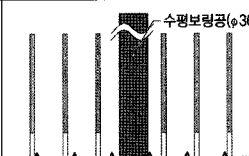
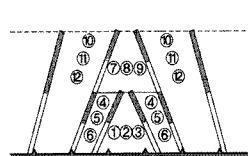
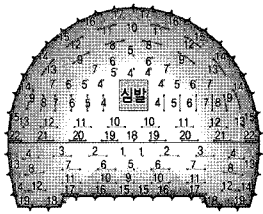
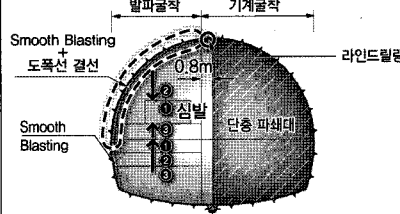
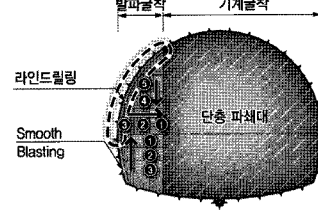
구분	일반발파 구간		진동제어발파 구간	
	Cylinder Cut	V-Cut	선대구경 심발공법	다중심발공법
개요도	 <p>무장약량(6102)</p>		 <p>수평보링량(6362)</p>	
적용구간	장공발파구간(PD-3)	단공발파구간(PD-4~5, SP-4~5)	보안물건 근거리 통과구간	일반 제어발파구간

표 10. 단층파쇄대 통과구간

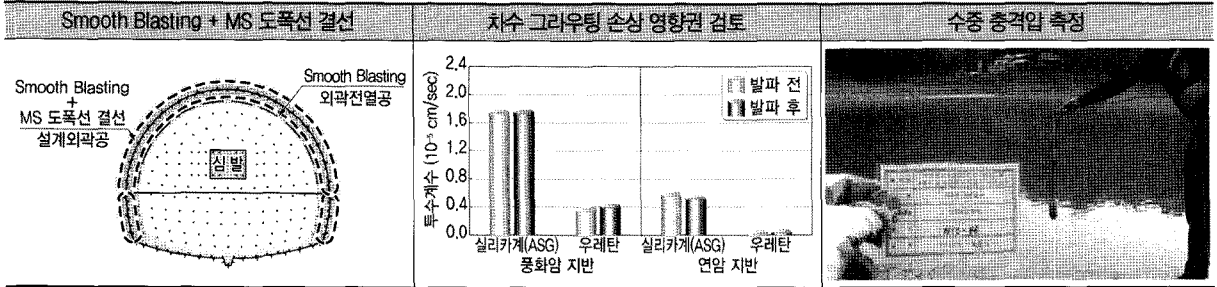
기본계획	기본설계	
	터널내 단층파쇄대 1/2 출현시	터널내 단층파쇄대 4/5 출현시
 <p>심발</p>	 <p>Smooth Blasting</p> <p>도폭선 결선</p> <p>발파굴착</p> <p>기계굴착</p> <p>라인드릴링</p> <p>심발</p> <p>단층 파쇄대</p> <p>0.8m</p>	 <p>라인드릴링</p> <p>Smooth Blasting</p> <p>발파굴착</p> <p>기계굴착</p> <p>단층 파쇄대</p>

규모 단층파쇄대와 조우하므로 이를 반영하여 발파설계를 계획하였다. 먼저, 일반발파 구간에서는 암반등급에 따라 장공발파를 위한 Cylinder Cut 공법과 단공발파를 위한 V-Cut 공법을 적용하였고, 진동제어발파 구간에는

선대구경 심발공법과 다중심발공법을 적용하여 진동으로 인한 영향을 최소화 하였다.

단층파쇄대 통과구간은 터널내 단층파쇄대 삼입정도에 따라 발파설계를 달리 적용하였다. 터널내 단층파쇄대가

표 11. 신갈저수지 하저 통과구간



1/2 출현시에는 단층대 봉락방지를 위해 파쇄대쪽 암반을 일부 남겨두고 발파한 후 단층파쇄대는 기계굴착 하도록 계획하였으며, 터널내 단층파쇄대가 4/5이상 출현시에는 암반부를 심발공 없이 단계별 발파를 적용하여 먼저 굴착한 후 단층파쇄대는 기계굴착 하도록 계획하였다.

신갈저수지 하저통과 구간에는 Smooth Blasting공법과 MS 도폭선을 적용하여 원지반 이완영역 및 여굴을 최소화 하였다. 그리고, 발파진동이 차수그라우팅에 미치는 영향을 검토하기 위하여 시추공에 시험발파시험을 수행한 결과 발파 전·후 투수계수의 변화는 거의 없었다. 또한, 시험 발파시 수중 충격압을 측정된 결과 충격압이 허용치 이내로 수중어류에 대한 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

4. 신갈저수지와 신갈단층대를 고려한 설계사항

4.1 터널 배수형식 선정

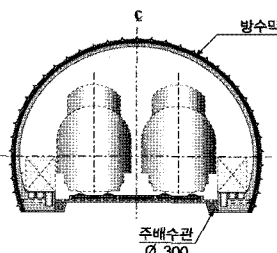
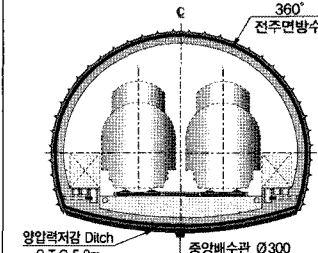
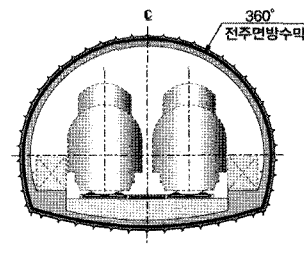
터널의 유지·보수시 문제점을 개선하기 위하여 유지보수 종사자와 전문가의 의견을 수렴한 결과 비배수터널은 유지관리가 용이하나 누수 발생시 보수에 어려움이 있고, 정수압이 작용하므로 콘크리트라이닝이 두꺼워지고 철근량이 과다해진다. 뿐만 아니라 국내 하저구간에 적용된 시공사례가 거의 없고 완전비배수 터널은 시공이 거의 불

가능하다고 알려져 있다. 유도배수 형식의 경우 배수량이 과다하여 신갈저수지 수위저하로 인한 피해가 예상되므로 본 설계에서는 라이닝 외부에 전체 방수막을 설치하고 하부 중앙배수관으로 외부에서 배수시키는 전주면 방수 형식을 적용하여(그림 6) 운영중 터널 내부를 건조한 상태로 유지하고 쾌적한 내부 환경을 제공하고자 하였다. 또한, 터널 굴착구면 360° 차수를 시행하여 터널 내 유입수 차단으로 저수지 수위저하를 방지하고 집수정 용량감소로 유지관리비를 절감시키고자 하였다.

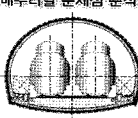
본 설계에서는 터널구면 360° 차수와 전주면 방수 형식을 도입하였으며, 완전 비배수 터널의 문제점을 몇가지 개선하였다. 먼저, 콘크리트라이닝에 일정 수압 이상이 작용하면 밸브가 열리고 그 이하에서는 항상 닫혀 있어 라이닝 작용 수압을 조절할 수 있는 감압밸브를 설치하였으며, 인버트 바닥부에 작용하는 양압력을 저감시킬 목적으로 일정 간격으로 Ditch를 파고 자갈채움을 하여 중앙 배수관으로 배수를 유도하였다.

차수범위를 결정하기 위하여 차수조건별 수치해석을 수행하여 터널면 차수를 360° 적용하였으며, 차수효과를 검증하기 위하여 축소모형 실험을 수행한 결과 차수폭이 3m 이상이면 차수성능이 확보되는 것으로 확인되었다. 차수폭 및 차수재의 종류는 암반조건과 파쇄대 영향 정도에 따라 단층대 구간에는 차수폭 7m의 우레탄차수를 적용하였고, 단층대 영향구간은 차수폭 7m로 실리카계(ASG) 차수를, 일반 하저구간은 차수폭 4m의 실리카계

표 12. 방수형식 선정


구분	유도배수 형식	전주면방수 형식	원전방수 형식
개요	·천단 및 측벽부 방수막 설치 ·주배수관을 이용한 유도배수	·라이닝 외부 전체방수막 설치 ·중앙배수관을 이용한 외부배수	·라이닝 외부 전체방수막 설치 ·터널내 지하수유입 전면차단
적용단면			
배수형식 선정시 고려사항	·배수형식의 선정은 굴착계획, 안정성, 인접구조물 영향, 유지관리, 손상시 대처방안 검토 ·과거 비배수형 적용시 재료 및 시공기술 부족으로 부분배수형으로 설계변경 사례 다수 ·비배수형은 정수압이 작용하므로 콘크리트라이닝이 두꺼워지며 철근배근이 과다함		
선정	육상구간	하저구간	-

원전 비배수터널 문제점 분석




- 완벽한 방수 시공 곤란
- 누수발생시 유지관리 곤란
- 정수압 작용으로 구조물 과대

전주면 방수형 터널



- 전주면 방수터널로 방수성능 향상
- 누수발생시 역제로 유지관리 개선
- 감압시스템 적용으로 구조물 경량화

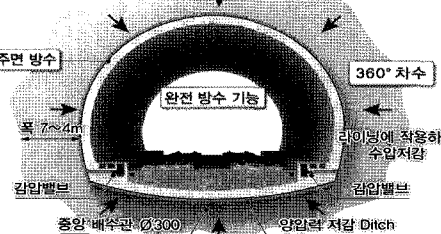
저수지 통과부 전구간 360° 차수그라우팅



단층대 통과부 → 360° 우레탄 차수
일반 통과부 → 360° 셀리카계(ASG) 차수

- 강도 조기발현, 친환경 자재
- 투수계수 탁월한 감소

전주면 방수



완전 방수 기능

폭 7~4m

라이닝에 작용하는 수압저감

감압밸브

전주면(全周面) 방수터널 장점

원전방수 기능

- 터널 내 유입수 차단으로 저수지 수위 저하 방지 및 침수정 용량 감소로 유지관리비 절감

운영중 터널 내부 건조상태 유지

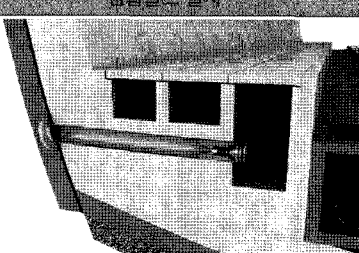

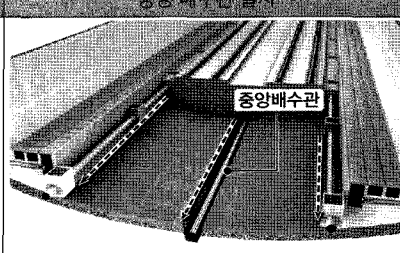
- 터널내 기기 보수 주기 증가로 유지관리비 절감 및 청결 유지

공사중 시공성 유리

- 공사중 터널 굴착주변 360° 차수로 시공중 유입량 감소, 굴착환경 양호

그림 6. 저수지 통과부 전주면 방수터널 적용

표 13. 원전 비배수 터널의 문제점 개선

감압밸브 설치	양압력 저감 Ditch	중앙 배수관 설치
		
·터널주변 유입수 배출로 과다수압 방지	·바닥부 유도배수로 수압 저감	·터널 외부유입수 종방향 배수 유도

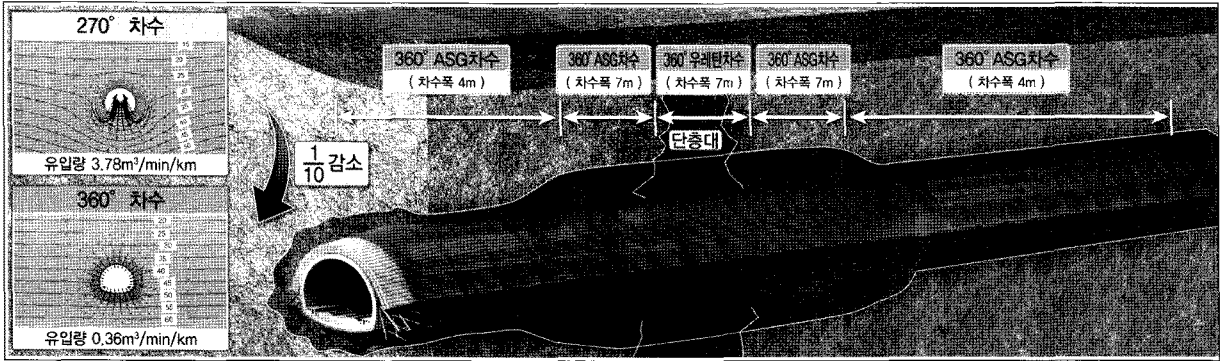
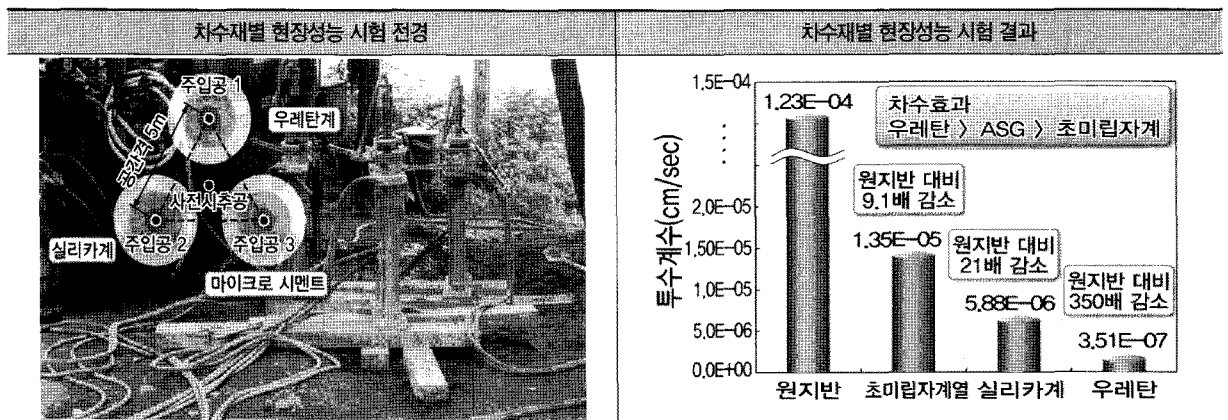


그림 7. 저수지 하저구간 차수공법 적용

표 14. 축소모형 실험을 통한 차수보강 영역에 따른 차수효과 검증



표 15. 차수공법 선정을 위한 현장 성능시험



차수를 적용하여 지반조건별 차수성능을 극대화 하였다. 최고 성능 및 친환경적 차수재 선정을 위하여 현장 성

능시험 및 어독성 시험을 수행하였다. 우레탄계, 실리카계(ASG), 마이크로시멘트계 차수재를 표 15의 그림과 같

이 설치하여 차수 성능을 검토한 결과 우레탄이 가장 우수하고, 실리카계, 마이크로시멘트 순으로 성능이 뛰어난 것으로 나타났다. 따라서, 차수성능이 우수하고, 용탈이 적어 친환경적인 우레탄과 실리카계 차수재를 본 과업에 적용하였다.

4.2 단층대 구간 보강계획

본 과업에는 신갈단층이 노선과 거의 평행하게 위치하고, 다수의 파생단층이 노선과 조우하면서 터널과 주변 지반의 안정성에 큰 문제를 유발할 것으로 판단되어, 상세조사를 통한 최적 노선의 결정, 모형 실험과 사례조사를 통한 최적의 굴착 및 보강공법 선정 및 단층대 조우시 안정적인 시공계획 수립에 주안점을 두고 설계하였다.

먼저, 단층대 위치 및 규모 파악을 위해 시추조사 48

공, Vibroseise 반사법탐사 2개소, 3D 전기비저항 탐사 400mX200m, 2D 전기비저항탐사 7.64km를 수행하였다. 조사결과를 반영하여 단층대 통과구간이 1,906m인 기본계획 노선을 변경하여 통과구간을 487m까지 감소시켰다(그림 8).

대규모 단층대 보강사례로 양산 단층대를 통과하는 00터널과 동래 단층대를 통과하는 00터널을 검토한 결과 대구경 강관 그라우팅으로 상부를 보강하고, 측벽에 각부보강, 하부에 마이크로파일 등으로 보강하여 안정성을 확보하였다. 또한, 단층대 모형실험에서도 상·하부 고강도 보강이 필요한 것으로 결과가 도출되었다.

본 설계에서는 터널과 조우하는 단층대의 특성을 일반 단층파쇄대와 전체가 토사인 단층토사 구간으로 구분하여 표 17과 같이 보강하도록 계획하였다. 즉, 단층파쇄대 통과부에는 링컷 굴착공법과 상부 대구경 2열 이중강관보

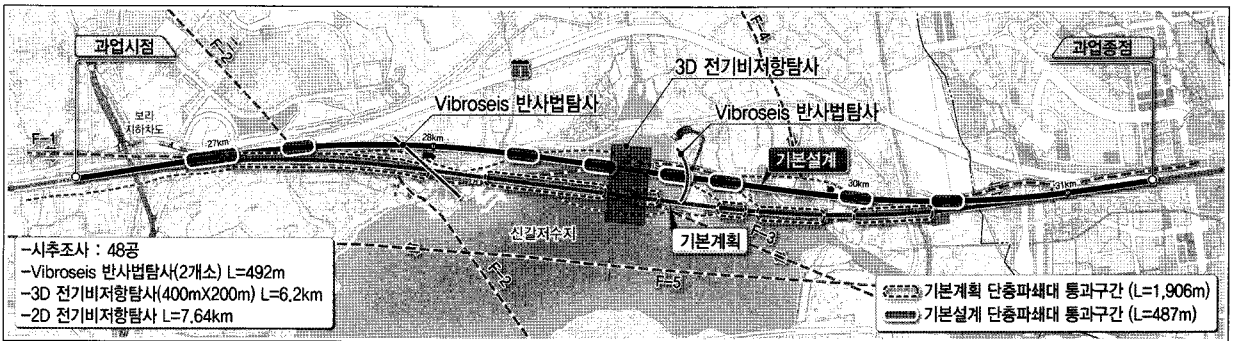


그림 8. 정밀조사를 통한 단층파쇄대 통과구간 최소화 선형계획

표 16. 단층대 모형실험 및 사례분석을 통한 보강형식 선정

단층대 모형실험		양산 단층대 보강사례	동래 단층대 보강사례
<p>무보강시</p> <p>단층토사구간</p> <p>터널 대규모 붕괴 → 고강도 보강 필요</p>	<p>보강시</p> <p>단층토사구간</p> <p>원지반 3배 강도증가</p> <p>터널하부 파괴 → 하부보강 필요</p>	<p>대구경 이중강관 그라우팅 Φ114.3 L=12.0m</p> <p>각부보강</p> <p>마이크로파일 C.T.C 1.0m L=5.0m</p>	<p>막장면 FRP 보강그라우팅</p> <p>대구경 AGF L=12.0m</p> <p>Foot Bolt L=4.0m</p> <p>Elephant Foot</p>

표 17. 단층대 특성별 보강방안

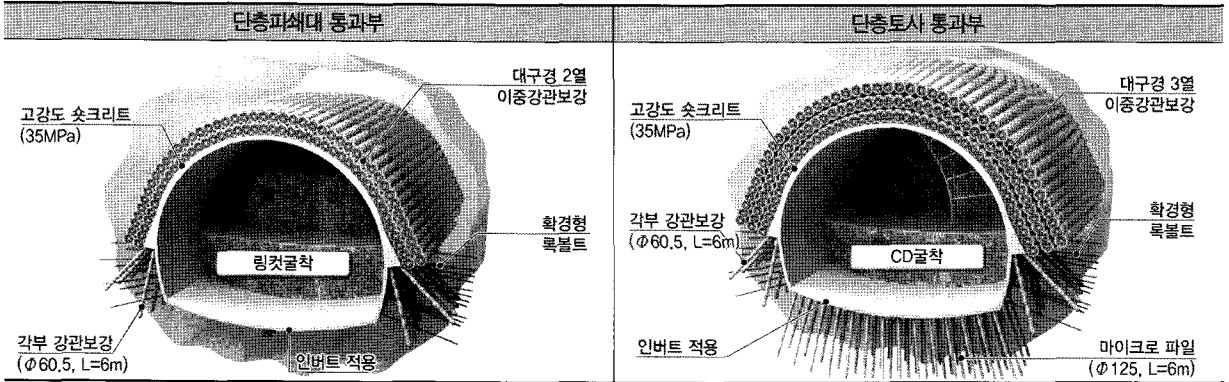
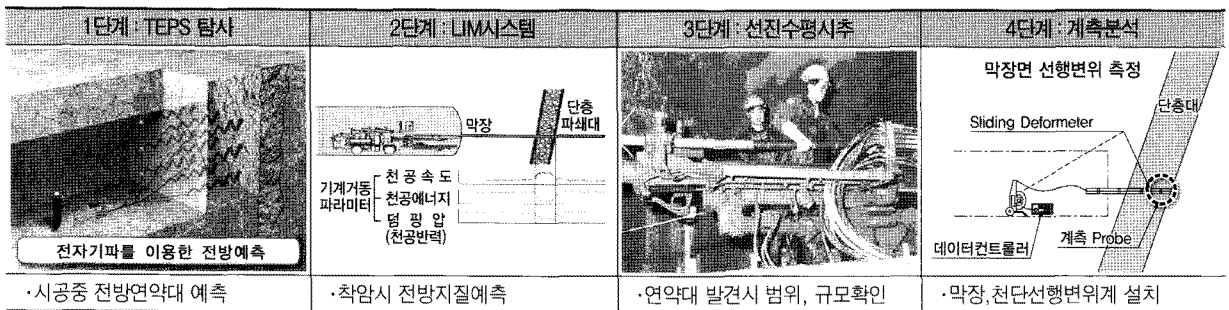


표 18. 단층대 통과구간 시공계획



강 및 측벽에 각부 강관보강을 적용하였으며, 단층토사구간에서는 CD 굴착공법과 대구경 3열 이중강관보강을 적용하고, 측벽에 각부 강관보강, 하부에 마이크로파일을 적용하였다.

단층대 위치와 규모를 정확히 예측하고 지질특성을 파악하여 안전한 시공이 이루어질 수 있도록 표 18과 같이 4단계 시공계획을 수립하였다. 1단계는 전자기파를 이용한 TEPS 탐사로 시공중 전방연약대의 위치와 규모를 예측하고, 2단계는 굴착중 전방지질을 예측하는 LIM시스템을 적용하여 파쇄대의 지질특성을 예측하고, 연약대가 발견되면 3단계로 선진수평시추를 수행하여 그 규모와 특성을 확인한다. 그리고 4단계로 막장과 천단에 선행변위계를 설치하고 계측결과를 분석하며 굴진하도록 계획하였다.

5. 공사기간 단축 계획

과업구간의 공사기간은 총 24개월로 계획되었으나 지반조사 결과를 반영하여 공사기간을 검토한 결과 기본계획의 작업구 2개소로는 공기준수가 불가한 것으로 확인되었다. 따라서, 사갱 1개소와 수직구 2개소를 추가 설치하여 공사중 작업구로 활용하고, 라이닝 타설을 굴착공정과 병행하여 목표공기 준수가 가능하도록 계획하였다.

굴착공정상 라이닝의 설치에 굴착이 완료된 후 시공되므로 터널의 연장이 길수록 공사기간이 증가한다. 그러나, 터널 굴착과 라이닝 타설을 병행 시공하면 시공중 안전을 위한 이격거리만큼의 타설시간만 소요되므로 공기를 획기적으로 단축시킬 수 있다. 관련 신기술 지정 보고

서에 따르면 3km 이상의 장대터널에 적용성이 우수하다고 한다. 굴착-라이닝 병행시공을 위해 라이닝 양생중 공사차량 출입이 가능한 특수 라이닝 폼을 적용하였고, 발파로 인한 진동이 라이닝 양생에 미치는 영향을 무시할 수 있는 적정 이격거리 산정을 위해 IT기술을 접목한 병행시공 기술을 도입하였다.

또한, 인버트 라이닝 양생기간에는 공사용 차량 운행이 곤란하므로, 굴착공정 이후에 인버트부를 시공하면 그만큼 공사 기간이 늘어난다. 이를 극복하기 위해 인버트 라이닝 양생구간에 이동식 가교를 설치하여 인버트 콘크리트 양생 중에도 버력반출 차량의 운행이 가능하도록 계획하였다. 또한, 기재갱과 배전소를 공사중 방향전환소로 활용하고 이동식 턴테이블을 막장 부근에 설치하여 공사 차량의 운행속도를 향상시켰다.

6. 결론

본 사례는 수서~평택을 연결하는 수도권 고속철도 제4공구 건설공사 기본설계로서 대규모 신갈단층의 영향권

에 속하고 신갈저수지 하부를 통과하는 난공사 구간이다. 따라서, 이를 극복할 수 있는 안전한 시공은 물론 목표공기를 달성할 수 있도록 설계시 주안점을 둔 부분은 다음과 같다.

첫째, 신갈저수지 하저 통과구간 시공시 저수지 영향 최소화를 위해 노선을 변경하여 저수지 통과 연장을 축소시키고, 지반조건에 따라 적절한 차수 및 보강공법을 적용하였다.

둘째, 신갈저수지의 환경영향을 최소화하기 위하여 저수지 하부 구간은 차수재를 터널주변 360°에 설치하여 수위저하를 억제하고 전주면에 방수막을 설치하여 터널내 부로의 지하수 유입을 방지하였다.

셋째, 단층대 통과구간 안정성 확보를 위해 상세 조사를 실시하여 단층대의 위치와 규모를 자세히 파악하고 영향을 최소화하는 노선으로 변경하였다. 또한, 단층대 규모별로 발파공법을 차별 적용하였고, 측벽 및 하부에도 각부보강 및 하부보강을 적용하였다.

넷째, 목표공기 달성을 위해 작업구를 추가 설치하여 막장수를 증가시켰고, 굴착-라이닝 병행시공을 적용하여 공사기간을 대폭 단축시켰다.