

## 능동터널 설계현황 및 시공방안

김재권<sup>1)</sup>, 심성현<sup>1)</sup>, 전제성<sup>1)</sup>, 손창규<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>삼성물산(주) 건설부문

<sup>2)</sup>부산지방국토관리청 도로시설국

### 1. 서 론

능동터널은 국도 24호선 확장공사 구간 중 산외(밀양 방향)와 상북(울산방향)을 잇는 터널로써 도로터널로는 현재 국내 최장터널(국도)로 설계가 되어있다(그림 1 참조). 기존 국도 24호선은 가지산을 넘어가는 산악도로로 선형이 매우 불량하고 사고위험이 많아 주 간선도로의 기능을 할 수 없으므로 가지산을 관통하는 도로터널을 시공하므로 선형을 직선화하고, 연장을 단축함으로써 물류비용 절감 및 이동성 향상을 도모할 수 있을 것으로 기대된다. 능동터널은 연장이 4.58 km인 2차로 병렬터널로 가지산 도립 공원을 관통하고 천연기념물인 얼음골이 인접해 있으며 모량 단층대를 통과해야 하는 지역 특성을 가지고 있어 설계에서 시공까지 기술적인 분석과 검토, 시공관리가 절실히 필요한 터널이라고 할 수 있다.

### 2. 사업개요

본 공사의 목적은 능동터널을 포함한 국도 신설을 통해 기존 국도의 매우 불량한 선형 및 긴 연장에 따른 사고위험, 이동성 불량을 개선하고, 주 간선도로 기능을 극대화하기 위해 안전하고 쾌적한 환경친화적인 도로를 건설하는데 있다. 그에 따른 기대효과로는 장래 교통수요에 효율적인 대처를 할 수 있고 지역발전을 도모하여 주변 관광개발을 촉진할 것으로 기대되며, 간선도로망 구축으로 물류비용 절감 및 이동성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 본 공사 개요를 살펴보면 총 연장이 8.663 km로 터널공사가 주 공종이며 터널공사 외에 교량 6개소(555 m), 교차로 2개소의 공사가 있다(표 1 참조).

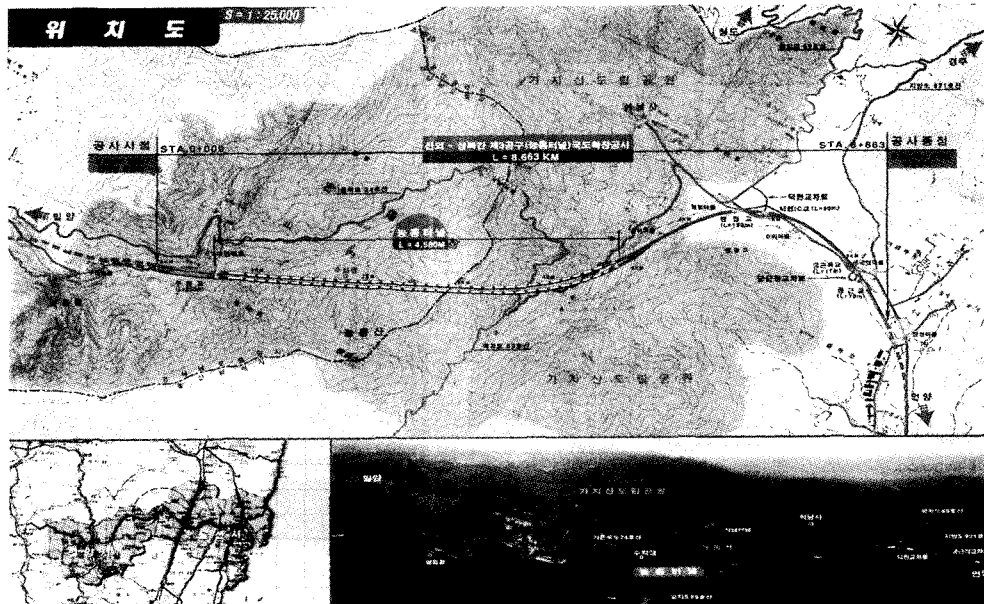


그림 1. 위치현황도.

표 1. 사업개요.

구분	설계내용	비고
공사명	산외-상북간 제3공구 국도확장공사	
공사구간	경상남도 밀양시 산내면 삼양리 울산광역시 울주군 상북면 궁근정리	
공사기간	2000.6.19 - 2006.6.18(72개월)	
연장 및 폭원	연장	8.663km
	폭원	20.0m
주요공사량	교량	6개소/555.0m
	터널	1개소 (2차로 병렬터널 4580m+4534m)
	교차로	2개소 (덕현교차로, 궁근정교차로)

표 2. 지반조사 내용.

지반조사	
· 시추조사 : 17개소	· 공내영상촬영 : 3회
· 탄성파탐사 : 2.31km	· 수입파쇄시험 : 2회
· 전기비저항탐사 : 4.74km	· 지하수수질분석 : 6회
· Image E/M탐사 : 2.48km	· 공내지하시험 : 13회
· 하향탄성파탐사 : 4회	
· 탄성파토모그래피 : 2단면	수직갱 시추조사(TB-6)
· BHTV+음파검층 : 1회	-헬기를 이용한 시추(H=260m)

3. 터널설계

1) 지반조사 및 결과분석

단층대 및 주변환경의 영향을 최소화하기 위해 다양한 조사 및 분석을 실시하였다(표 2 및 그림 2 참조). 조사 결과의 주요 사항으로는 터널로부터 배출되는 배기가스가 얼음골(천연기념물 224호)에 미치는 영향을 해석적으로 검증하여 환기방식을 선정하였고(ZONE 1), 터널 시점부의 붕적층 발달지역에서는 인접지역 사면붕괴 사례조사를 통해 사면 구배를 1:1.8로 조정하였

으며, Talus 지역은 발파에 따른 영향을 분석하여 대책을 수립하였다(ZONE 2). 또한 시추조사 및 물리탐사 결과 분석을 통하여 단층대의 위치를 파악하였고, 단층대 통과구간에 대한 굴착공법은 기계굴착으로 굴착방법은 가인버트와 중벽분할굴착으로 선정하여 현재 시공 중에 있다(ZONE 4). 터널 시공 중 발생할 수 있는 연약대, 파쇄대 구간은 물리탐사(전기 비저항, Image E/M 탐사) 결과 분석을 통하여 위치를 확인하였고 그 구간에 대해서는 TSP 및 3차원 계측을 통해 시공 중 확인 조사, 보강대책을 수립할 수 있도록 하였다(ZONE 5). 그 외에 환기 시스템이 설치되는 수직갱에 대한 시추와 장비성능시험을 수행하여 수직갱 굴착공법을 RC 공법으로 선정하였다(ZONE 3).

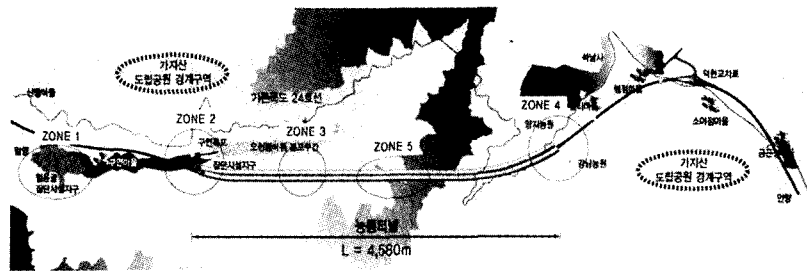


그림 2. 조사분석 위치도.

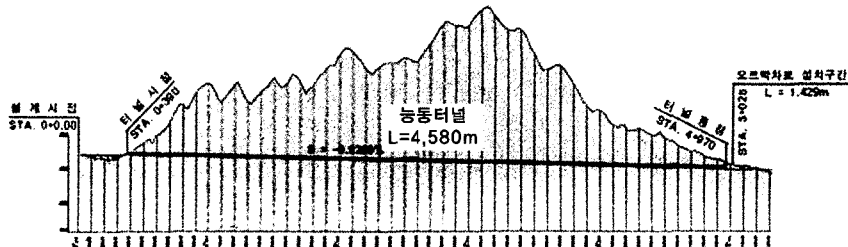


그림 3. 종단면도.

2) 터널 선형 계획

터널의 선형은 모량 주단층대를 우회하여 계획을 세우는 것이 불가하므로 단거리로 통과하도록 계획하였고 위험성을 최소화하기 위해 도로터널 사고사례 분석을 통하여 평면선형을 곡선반경이 R=1800 m 이상이 되도록 하였다. 또한 종단선형은 터널 내 오르막 차로가 발생되지 않는 최소 종단구배(0.92%)로 설계하였다(그림 3 참조).

3) 터널 단면설계

능동터널은 장대터널인 관계로 토공부와의 연속성 확보를 감안하여 도로의 기능성 향상 및 비상시 구급차 접근도로로의 활용이 가능하도록 주행차로 측 측방 여유폭을 토공부와 동일한 2.0 m로 확폭 설계하였고, 그에 따라 환기 단면적 증가에 따른 유지관리비 감소 및 운전자의 심리적 안정감, 비상시 활용성 증대 등의 기능이 향상되도록 설계하였다(그림 4 참조).

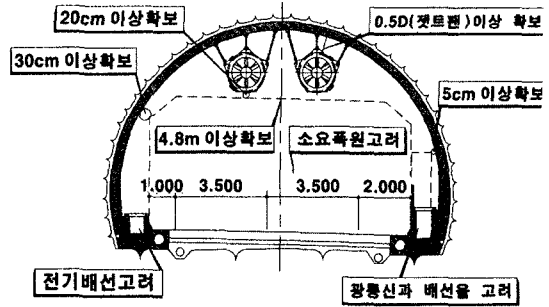


그림 4. 터널 단면도.

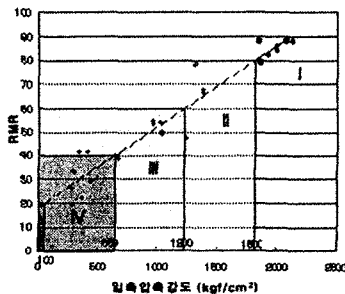
4) 터널 굴착공법

터널 굴착공법으로는 종점측 주변지반이 단층대 및

연약대일 것으로 예상되고 본선 구간에는 암석강도가 높은 관계로( $q_u > 2500 \text{ kg/cm}^2$ ) 지반변화에 능동적인 대처가 가능한 NATM 공법을 적용하였다. 또한 시점부 및 종점부의 탄성과 속도 및 시추 조사 분석결과 기계 굴착이 가능한 것으로 판단되어 일부구간에 대하여 기계화 굴착을 설계하였고, 그에 적합한 분할굴착 및 지보공법을 선정(링커트 분할 굴착, 중벽분할 굴착, 가인버트 굴착)하였다(표 3 참조).

표 3. 기계굴착 가능성 검토.

기계굴착 가능성 검토(ZONE 2 & 5)						
암석명	탐성파속도 (km/sec)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
화강암		0.489		1.466		
작업가능성		불도저 작업가능		리퍼작업가능		리퍼한계(발파)
분석		· 시점 탄성파 속도 : 629m/sec · 종점 탄성파 속도 : 489~1,466m/sec → 리퍼작업가능				



구분	계산일축강도 (kgf/cm²)	적용일축강도 (kgf/cm²)
1등급	~2,103	2,000
2등급	2,103~1,520	2,000~1,500
3등급	1,520~937	1,500~900
4등급	937~354	900~300
5등급	354 이하	300 이하

그림 5. 일축압축강도의 RMR 값과의 관계 및 발파설계 등급 결정.

5) 지반분류

국내의 터널설계는 설계상의 편의를 위하여 지보패턴 구분에 적합한 분류방법을 발파설계에까지 확대 적용하는 경우가 일반적이지만 본 설계에서는 지보설계와 발파설계를 구분하여 지반분류를 하였다. 발파설계를 위한 지반분류 방법은 실제 발파의 대상영역이 되는 막장면만을 분석대상으로 하고, RMR 값으로부터 일축 압축강도를 추정하여 구간별 발파설계를 위한 지반등급을 분류하였다(그림 5 참조).

지보패턴을 위한 지반등급은 범위를 막장면과 터널 천단 상부 1D 구간으로 한정하여 RMR 값과 Q값의 상관관계를 분석, 적용하였다(그림 6 참조).

6) 표준 지보패턴 설계

지보재 적용 검토를 통해 경제적이면서 시공성을 갖는 지보재를 선택, 적용하였다. 강섬유 보강 슛크리트의 경우 본선에서는 품질관리가 확실하고 경제성이 우수한 습식 시공으로 설계하였고, 수직갱에서는 펌프의 배속에 따른 문제점을 고려하여 건식을 적용하였다. 록볼

트는 시멘트 모르타르 주입형을 기본 형식으로 하는 전면 접착형을 적용하였고, 중벽분할 굴착등 록볼트 제거 구간은 제거가 용이한 GRP(Glass Reinforced Polymer) 록볼트를 적용하였다. 강지보재는 지반조건별로 격자 지보재, H-형강 지보재, U형 지보재를 적용하였다.

표준 지보패턴의 설계는 Q-시스템을 통한 지보재량 산정 후 본선, 비상주차대, 피난 연락갱등의 단면크기를 고려한 표준 지보패턴을 제시하였고 응력 집중이 예상되는 구간인 단면 변화부, 접속부 등과 갱구부, 단층대, 수직갱에 대해서는 별도의 보강방법을 제시하였다. 특히 지반등급 V의 경우 Q값을 세분화하여 다양한 지보패턴을 적용하였다(표 4 참조).

7) 발파설계

지반조사 결과를 분석하여 발파패턴을 위한 지반분류를 별도로 수행하였고, 암반강도 2,200 kg/cm<sup>2</sup> 이상인 극경암 지반에서 적용할 수 있는 예비 발파패턴을 제시하였다(그림 7, 8 참조). 또한 고강도 암반에 적합한 폭약(메가마이트)을 적용하여 발파효율을 높였으며 불연

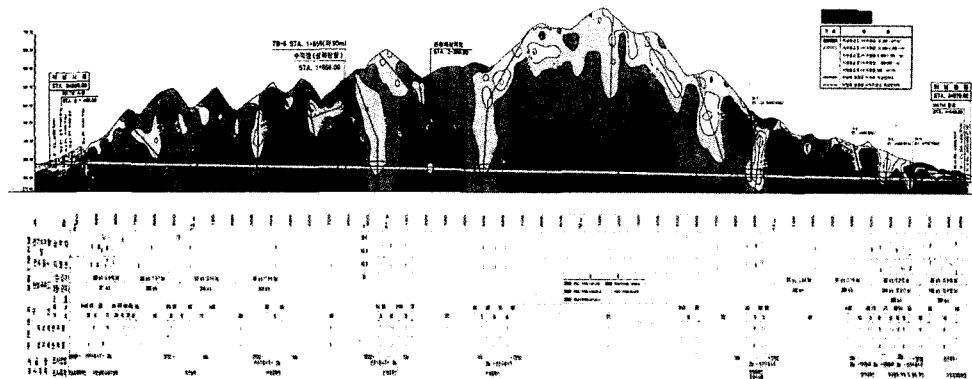


그림 6. 지반분류 종단면도.

표 4. 지보패턴도.

지보패턴	비상주차대															착암용피난연락갱			피난용피난연락갱	
	1	2	3	4	5-1	5-2	6-1	6-2	7-1	7-2	7-3	Y-1	Y-2	Y-3	비상주차대	H-1	H-2	본선연락대		
지반분류	RMR 41 이상	39~41	39~41	40~41	36 이하	29 이하	19~31	60~41	40~21	100~61	51~41	40~21	60~41	10~21	-	60~41	10~21	-		
Q 값	>10	10	~10	<0.1	<0.04	<0.01	40	<10	<0.1	<10	<10	<0.1	-	-	<10	<10	-			
굴 직 경 (m)	3.5	3.9	2.0	1.333.0	1.51.2	1.01.0	3.9	2.0	1.3~1.5	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			
굴 학 공 법	전면	재난	전면	9사분할	상하분할	9사분할	8사분	전면	상하분할	전면	전면	전면	전면	전면	전면	전면	전면	전면		
스크리트 두께 (cm)	50(10)	5	8	12	15	20	5	12	15	50(10)	8	12	15	50(10)	10	12	12			
깊이 (m)	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	2	2	2			
록볼트 간격 (m, 종/횡)	연/연	3.0/2.0	2.0/1.5	1.5/1.5	1.2/1.2	1.0/1.2	3.0/2.0	2.0/1.5	1.5/1.5	2.5/2.0	2.0/2.0	1.5/1.5	1.0/1.0	1.0/1.0	1.0/1.0	1.0/1.0	1.0/1.0			
위치	연/연	전송부	전단부	중간부	전단부	전단부	5면	전단부	전단부	상면	전단부	전단부	전단부	전단부	상면	전단부	전단부			
강지보재 규격	-	-	-	15~20x30	15~20x30	15~20x30	-	17~20x30	17~20x30	-	-	-	15~20x30	15~20x30	-	-	15~20x30			
강지보재 간격 (m)	-	-	-	1.5	1.2	1.0	-	2.0	1.5	-	-	-	1.5	1.0	-	-	1.0			

속면의 방향에 따른 천공방법 변경안을 제시하여 여굴 발생 및 막장면 이완등의 문제점을 보완하였다(그림 9 참조). 능동터널은 공정상 굴착과 콘크리트 라이닝 타설작업을 병행하여 시공하므로 발파가 양생중인 콘크리트 라이닝에 영향을 미치지 않는 적정거리를 해석적 방법으로 검증하여 200 m 후방에서 콘크리트를 타설도록 공정계획에 반영하였다.

8) 갱구부 설계

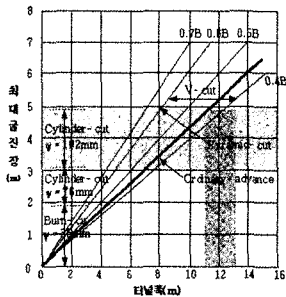
갱구부 위치 선정에 있어 터널 갱구사면의 안전성 및

시공성을 동시에 만족할 수 있는 위치를 선정하였고 자연환경 훼손을 최소화하고 지역여건을 고려한 절토고 20m 내외의 경관설계를 수행하였다. 터널 갱구부 보강은 안정성 확보를 위해 FRP 보강 그라우팅을 적용하였고 터널 상부에 붕적층이 위치하는 구간은 지상에서 시멘트 그라우팅을 시행하였다(그림 10 참조).

9) 수직갱 및 지하환기소 설계

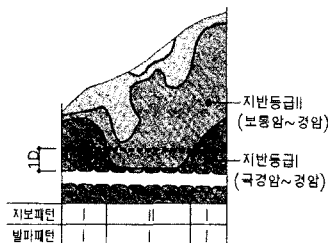
[설계현황(그림 11 참조)]

○ 수직갱



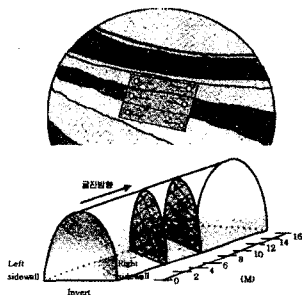
<p><b>기존설계의 문제점</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>극경암 지반의 경우 암반의 일축압축 강도를 800~1,500kgf/cm<sup>2</sup> 이하로만 적용</li> <li>막장에서 암반강도가 1,500kgf/cm<sup>2</sup> 이상일 경우 발파효율이 저하</li> </ul>
<p><b>설계개선사항</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>지반조사 결과를 분석하여 암반강도 2,200kgf/cm<sup>2</sup> 이상지반에 적용할 수 있는 예비 발파패턴과 각 패턴별로 예비 발파패턴 제시</li> <li>고강도 암반에 적합한 폭약사용(메가마이트)</li> </ul>

그림 7. 극경암지반 발파 패턴.



<p><b>기존설계의 문제점</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>지보패턴은 터널 천단부로부터 1D 이내의 지반조건을 평가하여 결정</li> <li>발파패턴 설계시 지보패턴과 동일하게 적용하므로 1D 이내에서 지반 변화시 실막장조건은 발파설계시보다 양호한 경우 발생</li> </ul>
<p><b>설계개선사항</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>발파패턴을 위한 지반분류를 별도로 수행</li> <li>실막장의 지반조건에 부합되는 발파패턴을 적용</li> </ul>

그림 8. 발파설계를 위한 지반분류.

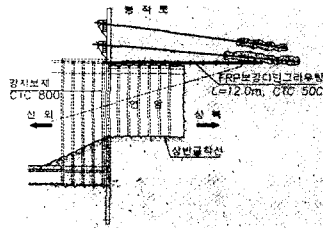


<p><b>기존설계의 문제점</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>발파시 불연속 절리면을 고려하지 않아 여굴 발생 및 막장면 이완 등으로 굴진시 문제점 발생</li> </ul>
<p><b>설계개선사항</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>불연속면의 방향에 따른 천공방법 변경안 제시                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- 경사절리 : 심발공을 조정하고 신선한 암반에 천공</li> <li>- 수직절리 : 심발공을 10% 정도 추가 천공하여 소요 굴진장을 확보</li> </ul> </li> </ul>

그림 9. 불연속면의 발파계획.

**터널갱구부 보강**

- 터널 갱구부 안정성 확보를 위해 FRP보강 그라우팅 적용



**터널상부 봉적층구간 보강**

- 터널상부에 봉적층이 위치하는 STA.0+450 ~ STA.0+490(봉적층) 구간은지상에서 시멘트 그라우팅 시행

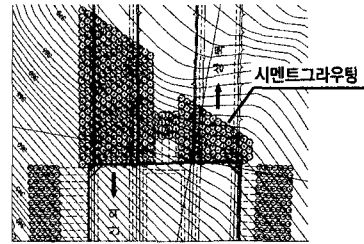


그림 10. 터널갱구부 보강 및 봉적층구간 보강.

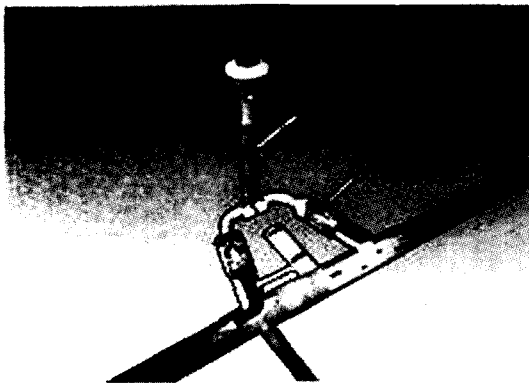


그림 11. 수직갱, 지하환기소.

- 설치위치 : STA. 1K+850(산외 방향)
- 설치심도 : 218.5 m
- 단면 : 내경 6.0 m(외경 6.8 m)
- 설치목적

터널 내 쾌적한 환경유지  
차량 배기가스의 대기 중 확산으로 주변환경에 미치는 영향 최소화

- 지하 환기소
  - 축류팬실, 전기실, 연결통로 계획

[사전조사 및 검토사항(표 5 참조)]  
[위치선정시 고려사항(표 6 참조)]

**10) 터널 안정성 검토**

터널해석 수행에 필요한 각종 매개변수(면 형상에 따른 안정성 검토, 지반분류 대상 영역 검토 등 20가지 항목)에 대한 사전검토를 통하여 합리적 설계를 수행하였고, 지반의 정성적 분류(연암, 경암등)가 아닌 설계적용 지반등급에 따라 특성치를 구분하여 적용구간별 심도별로 지반등급을 구분한 해석단면을 선정, 안정성 검토를 실시하였다. 그 외에 지형적 요인 및 터널현황에 의하여 3차원 거동이 예상되는 구간 및 보강공법이 적용

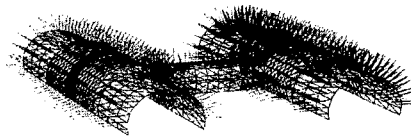
표 5. 사전조사 및 검토사항.

조사 항목	조사 및 검토내용	설계 반영 사항
진입도로 설치 검토	수직갱 위치로의 진입도로 설치협의 (밀양시 산림과)	노립공원내에 진입도로 설치물가에 따른 건설공법 검토(시설물 설치가능)
토지소유주 사전승인검토	수직갱 부지 사용을 위한 토지 소유주와 협의	토지 소유주의 수직갱 부지 사용 승인에 따른 수직갱에 의한 환기방식 적용
축량 조사	수직갱 위치 횡단축량	수직갱 부지 사용계획 수립
지반 조사	수직갱 위치(STA.1+850) 시추조사	수직갱 위치의 적정성 평가 및 건설공법 계획
시공법 검토	RBM 장비 성능시험을 통한 공법 계획 (Colorado School of Mines, 미국)	암반의 강도가 커서 RBM 적용시 효율 저하 및 장비고장등을 고려하여 RC 공법 선정(4.5.4 참조)

표 6. 위치선정시 고려사항.

검토 항목	적용 내용
환기효율 극대화	· 산외방향 터널길이의 2/3 지점(STA.1+850)에 설치하여 3개의 환기계통으로 분할 최적의 환기 효과 달성
시공성 및 유지관리	· 시공성 및 유지관리의 편의성을 고려 수직갱 심도를 200m 내외가 되는 위치로 선정

● 비상주차대/피난연락갱



● 본선/피난연락갱

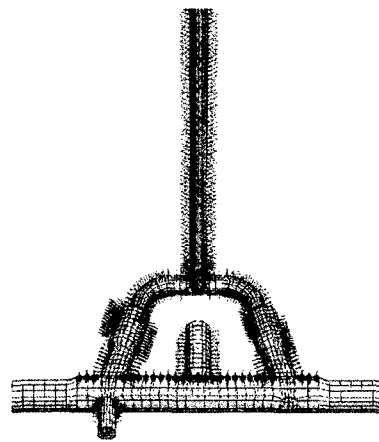
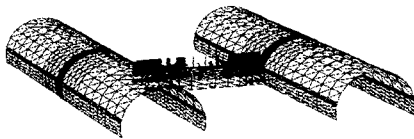


그림 12. 피난 연락갱 접속부, 지하환기소 수직갱 연결부 안정성 검토.

표 7. 라이닝 설계하중.

자중+온도하중	이완하중	지진하중	젯트팬 하중
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 계절별 온도변화 : 20℃</li> <li>· 건조수축 : -15℃</li> <li>· 내·외면 온도차 : ±5℃</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지보패턴 1, 2, 3 - 발파영향권(0.5m) 고려</li> <li>· 지보패턴 4, 5, 6 - 해석에 의한 이완하중 고려</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지진계수 - 0.154g</li> <li>· 젯트팬 중량 : 1.84tonf/set</li> <li>· 턴버클등 부대시설 : 0.25tonf/set</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 젯트팬 중량 : 1.84 tonf/set</li> <li>· 턴버클등 : 0.25tonf/set</li> </ul>

된 구간(갱구부, 터널 관통부, 피난 연락갱, 수직갱)에 대한 터널의 안정성 검토를 실시하였다(그림 12 참조).

11) 콘크리트 라이닝 설계

암반조건이 양호한 일반적인 구간에 시공되는 콘크리트 라이닝은 터널의 변위가 수렴된 후 시공하므로 지중 이외의 하중을 지지하지 않는 것으로 설계를 하였으며,

장기적으로 지반거동이 예상되는 연약한 지반의 경우 (갱구부, 단층 파쇄대 등)는 구조체로서 역학적 기능을 유지하도록 발파에 의한 손상영역 및 소성영역을 이완 하중으로 고려하여 설계하였다(표 7 참조). 또한 라이닝 콘크리트 재령시간 1일(압축강도 30 kg/cm<sup>2</sup>) 조건에서 거푸집 탈형 시 허용응력 초과 여부를 검토하여 24시간 경과 후 거푸집 제거가 가능함을 수치해석에 의해 검증

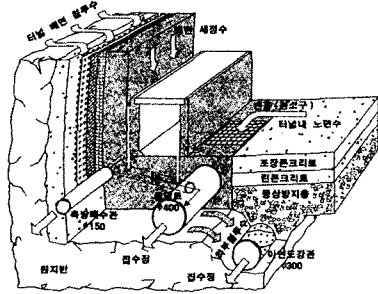


그림 13. 배수시스템 설계.

하였다.

12) 방수 및 배수설계

능동터널의 배수 설계는 터널구간 지반조건 및 산악 터널인 점을 감안하여 배수형 터널로 계획을 하였고, 배수시설의 규격 산정을 위해 구간별 침투류 해석을 통한 유입수량을 산정하여 대구경 유공관을 적용하였다 (그림 13 참조). 특히 환경오염 방지를 위한 지하수와 청소수 분리처리 시스템을 도입하였고, 단층대 등 용출수가 대량 유입될 것으로 예상되는 구간에 대해서는 차수 그라우팅을 계획 수립하였다. 방수공법은 시공성이 우수하고 가장 확실한 방수효과를 기대할 수 있는 슈트 방수 공법을 선정하였고, 재질로는 NATM터널과 수직

표 8. 계측목적 및 활용방안.

구분	계측목적	활용방안	
일상	익점관찰	막강의 안전성, 지질상황, 용수상태, 기사공구간의 상황을 파악	· 일반분류의 계량기 · 유지관리의 기초자료
	내공변위	변위량, 변위속도, 변위수렴상황, 단면 변형 상태 측정	· 지반/천단의 안정성 판단 · 지보설계 및 시공의 적정성 판단
계측	천단침하	천단의 절대 침하량 측정	· 역해석의 입력자료 · 콘크리트 라이닝 타설시기 판단
	지표침하	말은 심도(토포 H < 3D)의 지표면 침하 양상 측정	· 터널 시·중점부 구간 및 토포가 낮은 구간들의 지표침하 관리
정밀	지중변위	터널 경내에서 심도별로 변위량 측정	· 록볼트 길이의 타당성 판단 · 터널 주변지반의 이완영역 파악 · 콘크리트 라이닝 타설시기 판단
	숏크리트 용량	숏크리트의 집진 및 반영방향 용역상태 측정	· 숏크리트의 두께, 시공시기의 타당성 및 단면 폐합의 효과 판단 · 역해석의 입력자료
계측	록볼트 축력	심도별로 록볼트의 축력측정	· 정착방법/직경, 설치간격 판단 · 역해석의 입력자료
	토압계	계측구조물 작용토압의 검증	· 계측구조물 안정성 확인
별도	진동·소음	발파 진동치(cm/sec), 작업 및 발파시 소음(dB)의 측정	· 민가에 대한 진동/소음 영향 평가 · 민원사전 예방 및 대책 강구
	경구부침하	경구부 굴착에 의해 발생하는 천단침하의 연속적 계측	· 지반의 안정성 평가 · 경구부 보강공법 및 굴착방안에 대한 적정성 평가
관계	가시성 3D 변위	경구부사면의 3차원 변위계측을 통한 사면 거동등의 측정	· 가시성의 안정성 파악
	록볼트 인발	· 록볼트 인발내력 · 적정깊이 산정	· 정착상태 판단

구에서는 ECB슈트를, 개착터널구간에서는 아스팔트슈트를 적용하였다.

13) 터널 계측 설계

능동터널의 계측관리는 시공 중 계측자료를 DB화하고 계측결과와 Feed Back을 통한 결과분석 및 설계적 정성 검토를 실시하며, 인터넷을 통한 효율적 자료분석 및 관리를 통하여 터널구조물에 대한 안정성 확보의 기초자료로 활용하도록 설계하였다. 설계 시 적용된 계측 항목과 목적 및 활용방안은 표 8과 같다.

또한 중점부 모량 단층대 구간 터널의 장기 안정성 확보를 위해 단층대 구간 콘크리트 라이닝에 작용하는 응력 크기 및 내공단면의 변화를 측정하여 유지관리 계측으로 활용하도록 하였다(표 9 참조).

14) 부대시설 설계

터널 부대시설로는 오페수 정화시설, Talus 보호대책 시설(링네트), 옥외 공동구 시설등이 있는데 이중 정화 시설은 시공중에는 오페수를 집수하여 정화처리 후 공사사용수로 재활용하고 운영중에는 터널내 청소수 또는 유류 유출사고시 분리집수 후 정화처리하여 수질오염을 예방하도록 설계하였다. 그 외에 차량이 터널바깥으로 나올 때 발생하는 소음을 저감시키기 위해 시,중점부에 흡음시설을 설치하였고, 공사중에는 공사차량 및 발파로부터 발생하는 배기가스로 인한 환경오염을 방지하기 위해 전기집진기를 설치하였다.

15) 유지관리

공사 완료 시 막장관찰 자료 등 시공 중 발생된 모든 자료를 DB화하여 유지관리 기초자료가 되도록 하였고, 측방배수관의 관경 확대(150 mm)로 통수능력을 증대하며 필터 콘크리트 대신 이중 부직포를 사용하여 막힘 현상을 해소하도록 하였다. 수직갱의 유지관리를 위해서는 호이스트를 설치하여 운영중에 수직갱 상부에 설치되어 있는 기계실의 출입이 용이하도록 계획하였다.

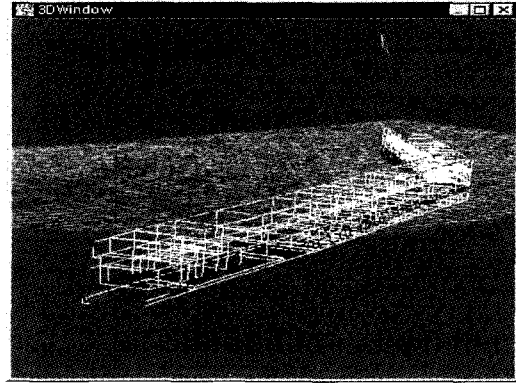
표 9. 영구관리 계측.

구분	계측 활용 방안	
영구	라이닝 응력	터널 콘크리트 라이닝에 작용하는 응력을 측정하여 구조물의 안정성 확인
	간극수압	터널 배면의 간극수압에 의한 라이닝 작용하중 측정 · 배수시스템의 배수효과 검증
관리	내공 변위	외부하중에 의한 라이닝 단면의 내공변형 정도 측정
	정밀침하측정	내공변위계는 단층대구간에서의 터널구조물 전체의 거동을 알수 없으므로 내공변위계의 기준원점에 대한 절대값 부여가 필요 · 단층대구간 내에 위치한 터널구조물의 절대변위를 측정
계측	지진계측	· 지진발생시 터널 진입차량의 안정성 확보



16) 환기설계

환기 설계는 개정된 도로와 구조, 시설기준에 관한 규칙(98. 8)에 기준하여 CO 100 ppm 이하, NOx 25 ppm 이하, 매연도 0.006~0.007 m-1 이하로 설계하였으며 환기방식으로 산외 방향의 경우 수직갱 송배기+젯트팬으로 상북방향은 젯트팬으로 설계하였다. 환기방식의 적정성을 검증하기 위해 수치 시뮬레이션에 의한 검증을 실시하였으며, 해외 환기 전문 기술기관인 HBI사(스위스), 세츠비사(일본)를 통해 환기방식에 대한 자문을 실시하여 선정하였다.



4. 터널 공사 관리

1) 공사관리 목표(그림 14 참조)



그림 14. 공사관리 목표.

2) 공사관리 주안점(그림 15 참조)

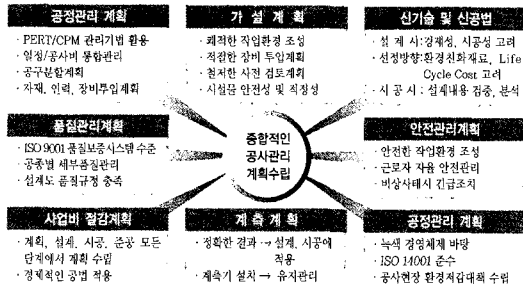


그림 15. 공사관리 주안점.

3) 지반정보화 시공

능동터널은 지반특성상 노선이 대규모 단층(모량단층)대를 통과하므로 굴착구간의 파쇄대 예측을 통한 안전시공이 가장 중요한 공사 관리 포인트라고 할 수 있다. 이를 위해서 능동터널에서는 지표지질조사와 설계시 물리탐사 및 시추결과와의 이용, 막장 지질조사 등을 통한 3차원 지반정보 가시화(그림 16 참조)를 구축하고 데이터베이스화하여 각종 정보의 종합분석 및 평가를 실시하는 터널정보관리 전문가 시스템을 운영하고 있다. 터널 설계단계에서 예측된 지반관련 기술적인 문제뿐만 아니라 터널 시공과정에서 획득한 각종 정보를 활용하여 터널 조사, 설계, 시공자료들을 축적, 보관, 관

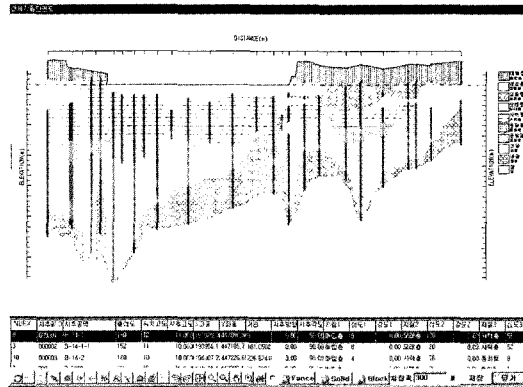
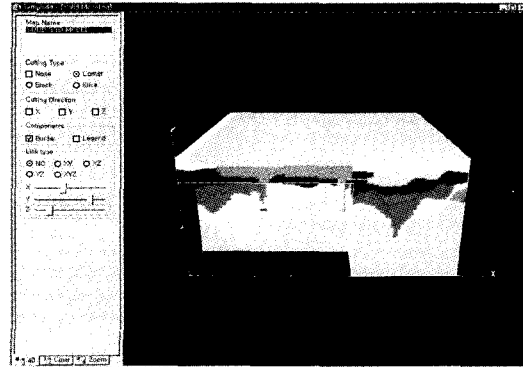


그림 16. 지반정보 3차원 가시화.

리 및 분석하여 정보화 시공을 실시하고 있으며 이러한 자료들은 다른 터널 현장 자료와 함께 향후 살아있는 터널 자료로 활용될 예정이다. 터널정보관리 전문가 시스템의 내용으로는 지반정보 3차원 가시화, 지반구조 추정, 지반 안정해석, 설계자료 관리 DB, 터널 발파 영향권 가시화, 지반침하 및 건물손상 평가, 계측 정보 DB, 막장붕괴 추정, 막장 안정성 및 보강공법 선정 등으로 구성되어 있다.

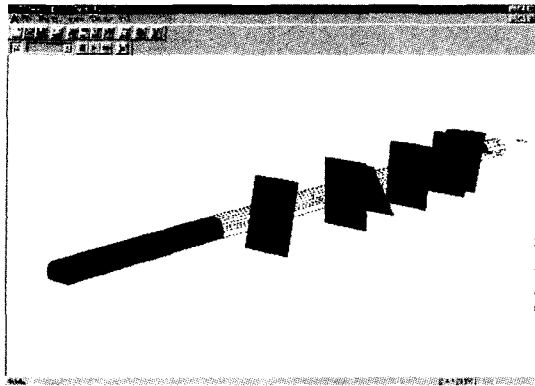


그림 17. TSP 탐사 결과.

4) TSP 탐사

TSP(Tunnel Seismic Prediction) system은 탄성파의 특성을 이용한 막장전방 예측 system으로서, 터널 막장부근 측벽에 소량의 화약을 터트려서 발생하는 탄성파가 특이 지층대 (단층, 파쇄대 등)를 만났을 때 반사되어 되돌아오는 성질을 이용하여 터널 전방 지반의 물리적 특성치와 단층 및 파쇄대 등 불연속면을 예측, 분석할 수 있는 최신 기술중의 하나이다. 능동터널과 같이 단층대 및 파쇄대가 많이 존재하는 터널에서는 전방 지질의 정확한 예측이 안전시공 및 시공 CYCLE의 계획에 중요한 요소로서 작용하며 TSP SYSTEM을 보유하고 있는 능동터널 현장에서는 적극적인 활용을 위해 전 구간(200m 간격)을 탐사할 계획이다. 이러한 자료는 추후에 TSP를 활용하는데 중요한 자료로 활용될 것으로 기대된다(그림 17 참조).

5) 3차원 계측

터널의 3차원 계측은 기존에 적용해오던 2차원 계측의 문제점 즉, 초기치 측정의 한계성, 측정방법간의 불일치, 즉각적인 FEED BACK의 곤란, 막장면 또는 막장전방에 대한 예측기능의 부재 등을 극복할 수 있는 신 계측 시스템이다. 터널 내부변위를 광파기를 이용하여 막장면에서부터 3차원 절대좌표로 측정하므로 신속하고 정밀한 계측결과를 확보할 수 있을 뿐만 아니라 시공의 연속성도 방해하지 않고 시행할 수 있다. 능동터널에서는 이러한 3차원 계측을 도입하여 3차원 변위

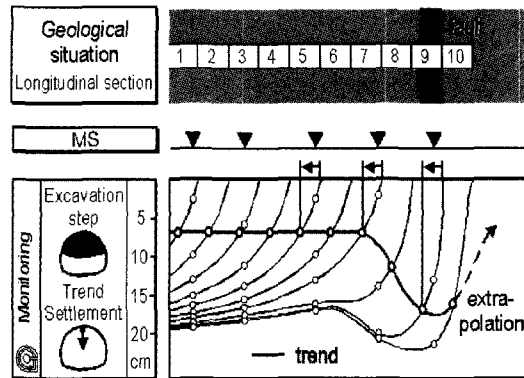


그림 18. 3차원 계측에 따른 전방지질 예측.

측정결과와 분석기법을 활용한 막장전방의 지반 변화 예측을 실시하고 있고, TSP SYSTEM과 함께 파쇄대 및 연약층의 추정을 통한 적절한 지보패턴 변경시기의 결정, 보강대책에 대한 사전조치 등 터널의 시공관리와 안전관리에 적극적으로 활용하고 있다(그림 18 참조).

5. 결론

본 능동터널은 NATM 터널이 갖출 수 있는 대부분의 조건과 그에 따른 기술적인 요소들이 다양하게 포함되어 있어 국내 터널 굴착기술을 한층 더 Upgrade 시킬 수 있는 절호의 기회가 될 것으로 생각된다. 특히 막장전방을 예측하는데 있어 TSP탐사, 3차원 계측, 터널 정보관리 전문가 시스템을 통한 Feed back 등은 각각에서 나오는 정보를 상호 검증할 수 있고 터널기술 축적의 중요한 자료로 남을 것으로 기대가 된다. 따라서 현장에서는 이러한 모든 첨단기법을 적극적으로 적용하고 치밀한 계획, 철저한 시공관리를 통해 도출되는 자료에 대한 축적 및 분석을 실시하여 관련학회의 살아있는 연구자료로 활용되고 국내 터널기술을 발전 시키는데 크게 기여할 것으로 보인다.

참고문헌

1. 삼성물산(주) 건설부문, 2000, 산와-상복간 제3공구(능동터널) 국도확장공사 설계보고서, 182-261

**김재권**



1980년 동아대학교 공과대학 토목공학과  
공학사  
1994년 연세대학교 공과대학 토목공학과  
공학석사

Tel: 02-2145-5088  
E-mail: jkkim1@samsung.com  
현재 삼성물산(주) 건설부문 토목기술  
팀장

**손창규**



1976년 부경대학교 공과대학 토목공학  
과 공학사

Tel: 051-461-0743  
E-mail: son3288@hanmail.net  
현재 부산지방국토관리청 도로시설국  
능동터널 감독관

**심성현**



1985년 고려대학교 이과대학 지질학과  
공학사  
2002년 중앙대학교 공과대학 토목공학과  
공학석사

Tel: 02-2145-6033  
E-mail: symmoon@samsung.com  
현재 삼성물산(주) 건설부문 토목기술  
과장

**전제성**



1991년 연세대학교 공과대학 토목공학  
과 공학사  
1993년 연세대학교 공과대학 토목공학  
과 공학석사

Tel: 02-2145-6035  
E-mail: js.jun@samsung.com  
현재 삼성물산(주) 건설부문 토목기술팀  
과장