

철도터널의

설계사례



손관호
SK건설(주) 대표이사

최근 Turn key 방식으로 발주되어 공사가 진행중인 보성~임성리 제2공구 철도건설공사와 고속철도(2단계 구간) 제13~3공구 노반신설공사에 대해 기술 사항을 중심으로 간략히 소개하고자 한다.

1. 보성 ~ 임성리 제2공구 (장동~장흥간) 철도 건설공사

1.1 사업개요

본 사업은 경부선과 호남선의 미연결 구간인 전남 보성에서 임성리까지 총 연장 82.388km 중 전남 장흥군 장동면에서 장흥군 장흥읍을 연결하는 연장 8.12km 구간으로 교량 1개소(시목교 L= 24m), 터널 2개소(북교터널 L= 1,940m, 장동터널 L= 5,960m)와 일부 토공구간으로 구성되어 있으며 2009년에 준공을 목표로 제반 사업이 추진되고 있다.

본 사업은 1998년 12월 경전선 직·복선화 타당성 조사에 의거 2000년 12월 경전선 개량 기본계획에 따라 Turn-key로 발주되어 사업이 시행되고 있으며, 사업이 완공되면 남해안 동서축의 간선 철도망이 구축되어 장흥, 강진, 해남 등 서·남해안 철도 교통편의를 제공하고, 낙후된 수송 서비스가 향상되어 국토의 균형발전과 지역 경제활성화에 크게 기여하게 될 것으로 기대된다.

» 강좌 I

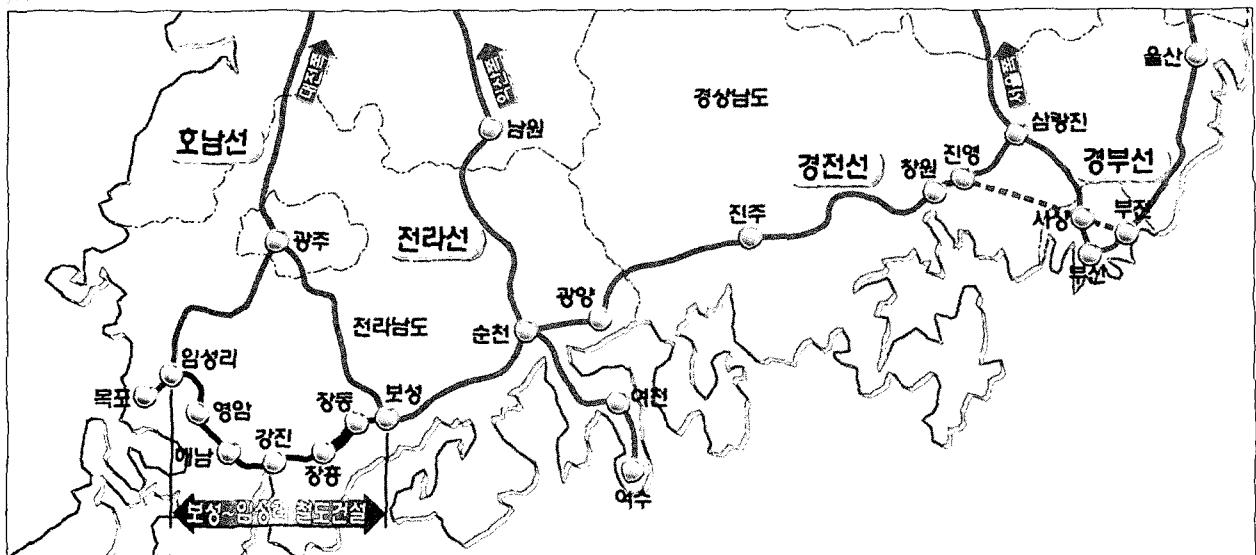


Fig. 1 사업구간 위치도

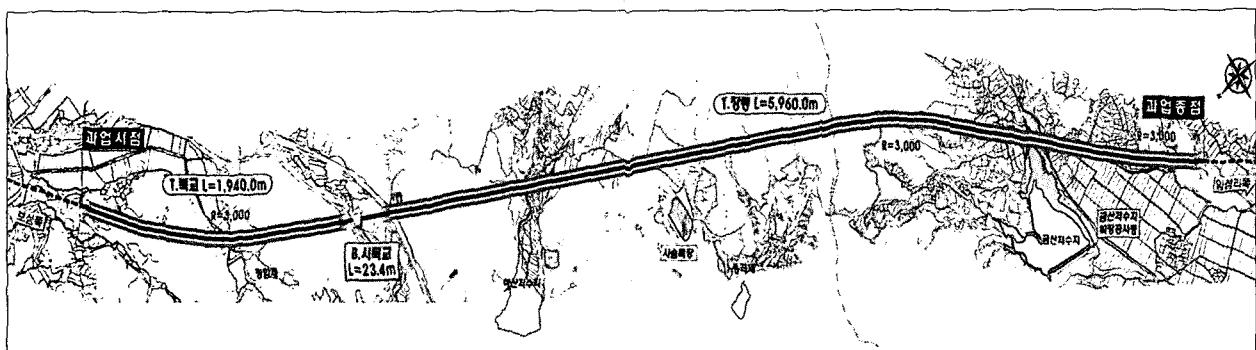


Fig. 2 사업구간 노선도

1.2 주요 고려사항

기본계획시 노선계획은 최소곡선반경이 $R=1200\text{m}$ 인 노선으로 공사시점부의 저수지를 근접 통과하고, 문중집 단묘역 및 문화유적 산포지역을 통과하며, 금산저수지 하부를 통과하는 등 자연환경 훼손 및 민원발생이 우려되는 선형계획이 수립되었다.

따라서 기본설계시 환경보전 및 민원을 최소화 할 수 있는 설계계획을 수립하였으며 특히, 본 사업구간은 연장 8.12km 구간 중 7.9km가 터널로 계획되어 있어 장대터널의 특성을 고려한 시설 배치계획과 환기 및 비상시 방재 설비 등을 설계에 적극 반영하였다.

보성~임성리 제2공구(장동~장흥간) 철도공사를 위해 설계시 고려하였던 주요사항과 특히, 초장대터널인 장동 터널의 안전하고 효율적인 환기 및 방재계획에 대해서 기술하면 아래와 같다.

우선 선형설계시 최소곡선반경을 $R=1,200\text{m}$ 에서 $R=3,000\text{m}$ 로 확대하여 선형연계성을 확보하였으며 저수지, 집단묘역, 문화유적 등 대형 지정물을 우회하는 노선으로 선정하여 시공중 및 운영중 저수지 환경보존과 지하수위 저하방지, 민원 최소화를 도모하였다.

지반조사시에는 저수지(정암재, 금산저수지) 통과구간, 2번국도 통과구간, 단층대, 파쇄대 등 취약구간에 대해 조사밀도를 증대하였으며, 저토피 풍화대, 저수지 구간의 수

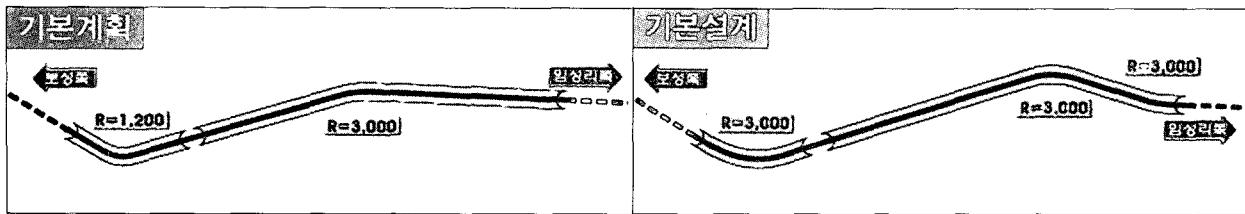


Fig. 3 선형설계

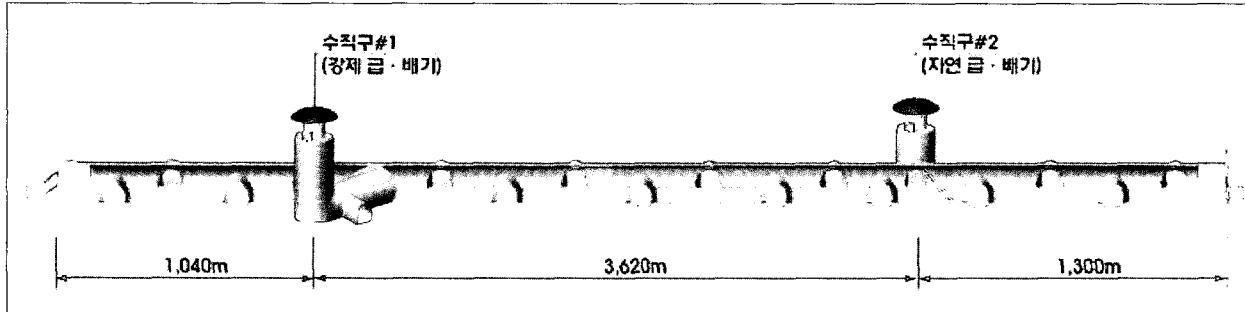


Fig. 4 장동터널 환기설계

리 및 공학적 특성을 상세 규명하여 설계 신뢰도 향상을 위한 합리적인 설계정수를 산정하였다.

1.3 터널환기 및 방재설계

사업구간내 터널은 길이 1,940m인 북교터널과 길이 5,960m인 장동터널이 있으며 특히 장동터널에 대해서는 초장대터널의 특성을 감안하여 환기 및 방재설계를 수행하였다.

철도터널의 환기 특성은 열차에 의한 차폐율이 커서 교통 환기력이 크게 작용하고, 농도를 낮추는 희석환기 보다는 공기를 완전히 교체하는 치환환기 방식이 바람직하다.

오염물질의 배출은 주로 디젤기관차에 의한 것이며, 가스상 물질(NO_x , CO , 매연)의 오염 물질 중 NO_x 가 주로 문제시 되며, PIARC에서는 NO_x 의 허용기준을 25ppm로 하여 환기설계 기준으로 하고 있다.

환기방식 선정을 위하여 장동터널의 자연환기 가능여부를 검토한 결과 수직구를 설치하지 않을 경우 교통 환기력에 의한 자연환기는 NO_x 농도값이 39.49ppm으로 기준치(25ppm)를 초과하는 것으로 나타났다. 또한, 수직구를 1개 소 설치한 경우에도 자연환기가 불가능하였으며 자연환기

를 위해서는 수직구 2개소가 필요한 것으로 나타났다.

장동터널의 환기 및 방재방식 선정은 각각의 대안들에 대하여 계층적 의사결정 방법(AHP)을 이용한 VE평가를 실시하여 운영중 자연환기가 가능하도록 수직구 2개소를 설치하는 것으로 계획하였다.

최근들어 터널이 장대화됨에 따라 철도내 화재사고 발생이 증가하고 있으나 국내 철도터널의 방재기준은 없으며 안전성 강화 측면으로 대피통로나 기타설비를 적용하는 추세이다.

특히, 장동터널과 같이 연장 5km 이상인 초장대터널은 화재시 2차 사고를 예방하고 인명피해를 최소화 할 수 있는 대책이 필요하므로 터널내 사고에 대비한 대피 시나리오를 작성하여 신속한 구난활동을 할 수 있는 계획을 수립하였다.

장동터널의 화재시뮬레이션 결과 인명대피 가능거리가 1,710m에 불과해 사고시 승객의 안전을 위하여 방재설비가 필요한 것으로 나타나 제연설비(축류팬 2대)를 설치하여 인명대피방향으로 유독성가스 및 열기류가 흐르는 것을 억제하도록 하였다.

장동터널의 방재 방식 및 특징은 수직구에 축류팬을 설치하여 화재시 강제 제연을 실시하고 수직구를 대피로로

» 강좌 I

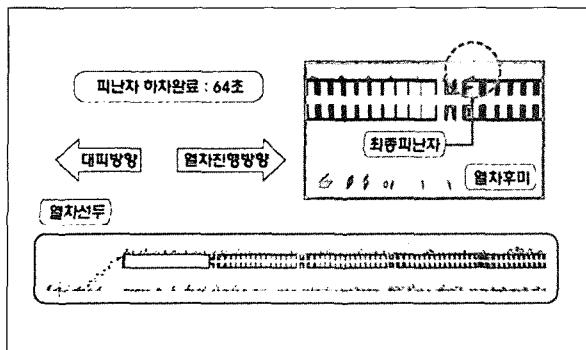


Fig. 5 화재발생시 열차 하차시간 분석

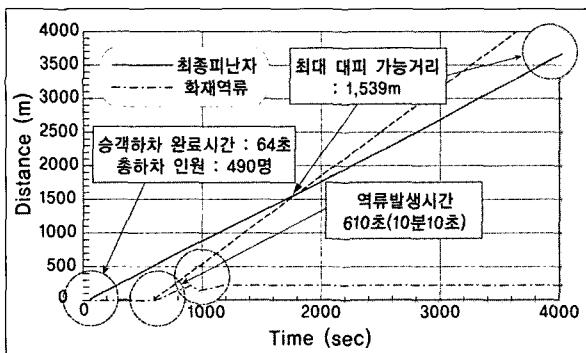


Fig. 6 화재시 인명대피 가능거리

계획하여 방재의 효율성을 증대시켰으며, 운영중 자연환경이 가능토록 하여 보선원의 유리관리 편의성을 도모하였다.

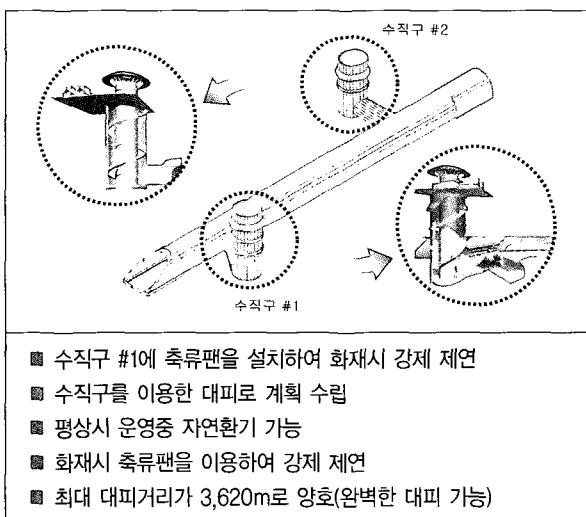


Fig. 7 장동터널 방재설계

또한, 터널내 화재가 발생할 것에 대비하여 방재 시나리오를 작성하였다. 방재시나리오는 상·하행 운행중 사고가 발생하는 구간을 터널 시점부, 중앙부, 종점부로 구분하여 대피방향 및 축류팬 운전방식을 규정하여 사고시 신속한 대피가 이루어 질 수 있도록 하였다.

구 분	상행 운행중 사고시		하행 운행중 사고시	
	대피방향	축류팬 운전방식	대피방향	축류팬 운전방식
상·하행 시점부	수직구 #1로 대피	미가동	시점 갱구부로 대피	미가동
상·하행 중앙부	수직구 #2로 대피	배기	수직구 #1로 대피	급기
상·하행 종점부	종점 갱구부로 대피	배기	수직구 #2로 대피	급기

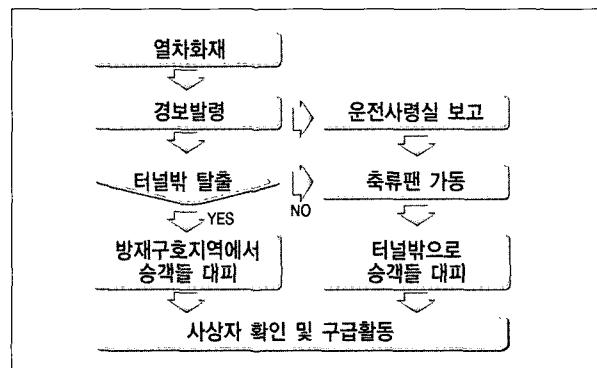
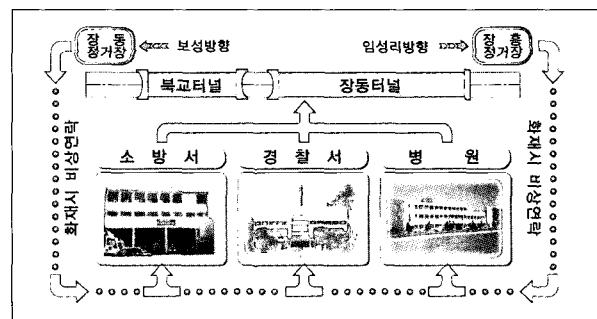


Fig. 8 화재발생시 방재 시나리오

2. 고속철도(2단계 구간) 제13-3공구 노반신설 공사

2.1. 사업개요

본 사업은 경부고속철도 2단계 건설구간 중 울산광역시 울주군 삼동면에서 경남 양산시 용산읍 일대의 정족산, 천

성산 하부를 통과하는 전체 원효터널(총 연장 : 13,27km) 구간 중 일부(연장 : 8.445km)인 제13-3공구 구간이다.

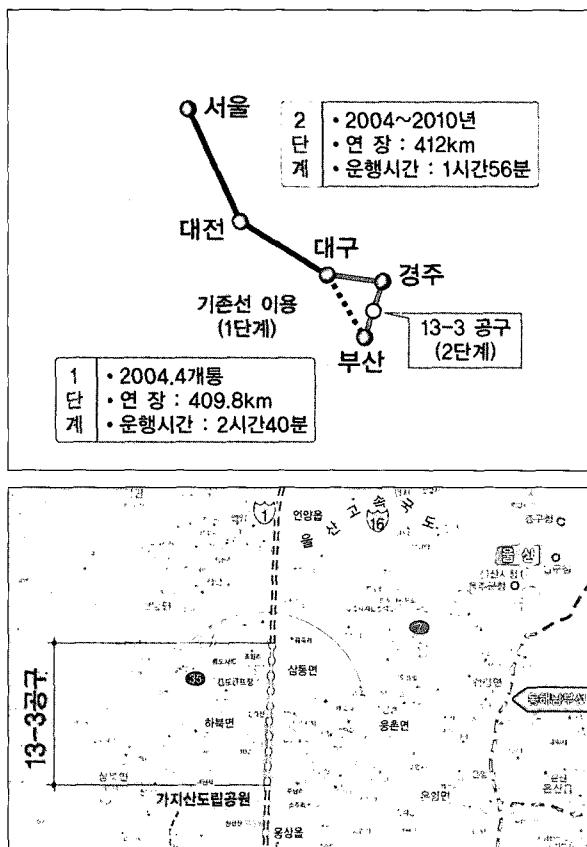


Fig. 9 제13-3공구 위치도

경부고속철도사업은 1992년 6월부터 공사를 시작하여 12년 만인 2004년에 1단계 공사가 완공, 개통되어 현재 순조롭게 운행 중에 있다. 2단계 사업인 대구~경주~부산 간 구간은 2010년 완공을 목표로 현재 사업이 진행 중에 있다.

2.2 주요 고려사항

제13-3공구는 총 연장 L=8.83km 중 터널구간이 원효터널 8.445km 및 삼동터널 0.235km로 전체 공사구간의 98.3%를 차지할 정도로 터널공사가 주공정으로 되어 있으며, 시공성 향상과 완공 후 유지보수를 목적으로 길이 970m와 930m의 사방 2개소가 포함되어 있다.

본 공사구간은 대안입찰공사로서 SK건설이 2003년 2월 낙찰을 받았으나, 정족산과 천성산의 환경문제로 인한 민원으로 공사가 지연되어 오다가 정부의 적극적인 시행 의지로 2004년 2월부터 본격적으로 공사를 시작하였다.

특히, 본 공사구간은 계획노선 주변에 생태계보존지구로 고층습지가 분포하여, 조사단계에서 상세히 습지분포 현황 및 습지특성을 파악하였으며, 터널굴착으로 인한 주변 습지 영향을 충분히 검토하여 습지보전 대책을 수립하였다.

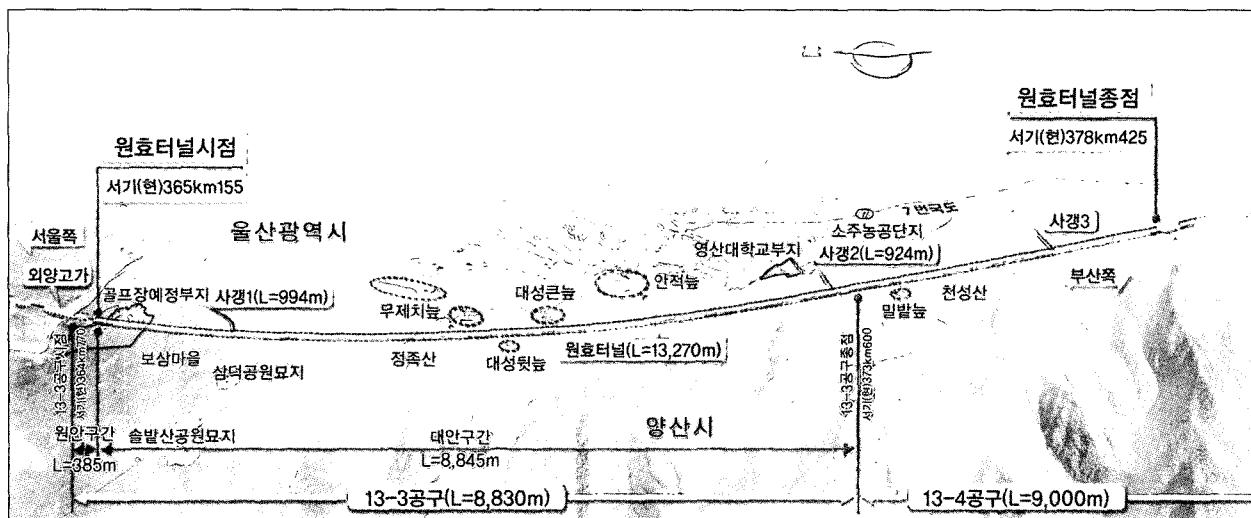


Fig. 10 제13-3공구 상세현황

» 강좌 I

2.3 친환경 터널설계

제13-3공구 원안설계시에는 환경에 민감한 공사구간임에도 불구하고 습지현황조사 및 터널시공에 의한 습지영향평가와 보전대책이 수립되지 않았다.

따라서, 대안설계시에는 습지현황을 상세조사하고 터널굴착 영향평가에 의한 습지 보전대책을 수립하였다.

생태계 고충습지 보전을 위한 대책으로 먼저 지하수 유동분석에 의한 고충습지 영향평가를 실시하였다. 검토결과 고충습지는 터널 굴착 후 지하수위 하강 영향 반경 내에 포함되지 않는 것으로 나타났다.

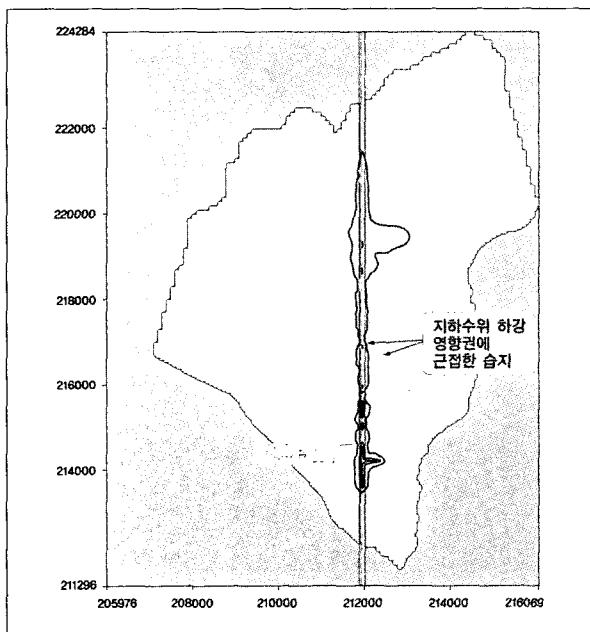


Fig. 11 터널굴착 완료 후 지하수위 영향권

그러나 터널굴착 시 터널내부로 유입되는 용수량을 저감하기 위하여 TSP 탐사 및 감지공을 천공하여 막장 전방의 파쇄대와 용수량의 측정 결과에 따라 그라우팅을 실시하는 것으로 계획하였다.

정족산 주변 습지는 고충습지로 주로 강우 등 지표수에 의해서만 유지되는 조건에서 형성된 습원으로 암반 지하수위의 변화가 습지 수원에는 영향이 미치지 않을 것으로 예상된다.

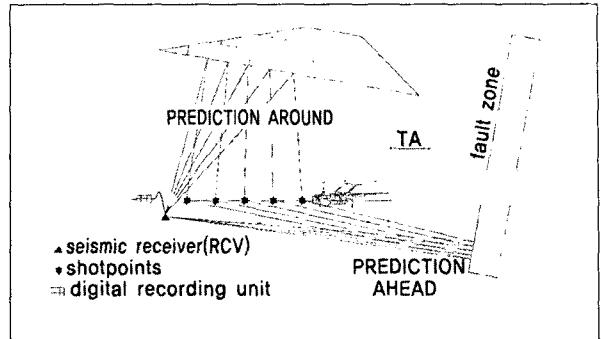


Fig. 12 TSP 탐사

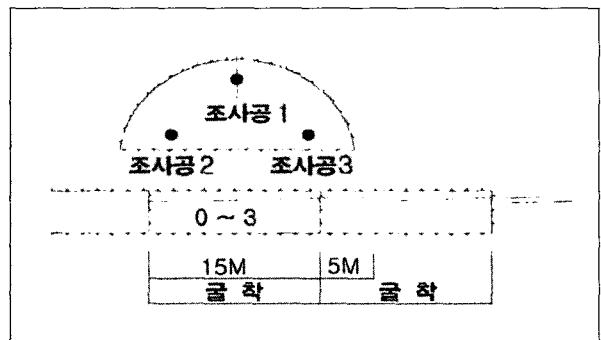
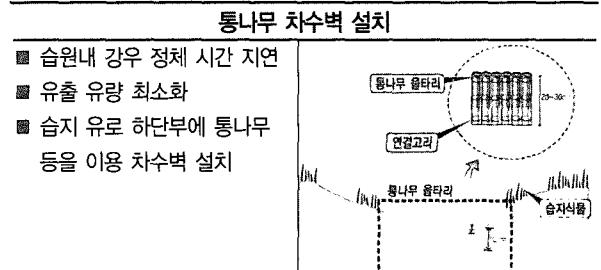


Fig. 13 감지공

현재 습지가 훼손되고 있는 주요인은 임도개설, 주변 암자 진입로, 등산객 출입 등으로 습지에 직접적인 위험을 가하는 행위에 기인하나, 습지 보전을 위해서 지표에서의 적극적인 보전 대책을 수립하였다.

표 1. 습지보전 방안



낙엽층 형성
<ul style="list-style-type: none"> ■ 임도/암자 진입로 등의 나출지의 토양은 습지 파괴의 주요 원인 ■ 인위적으로 나출지에 낙엽층을 형성, 주변 습지에 토사 유입 방지
산림조성
<ul style="list-style-type: none"> ■ 지속적인 토양수 공급을 위해 습지 주변 산사면에 식재를 통한 산림조성

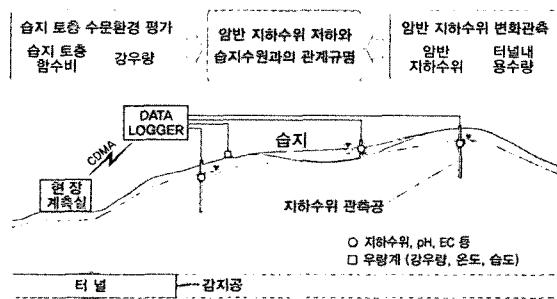
표 2. 모니터링 시스템 구축

관측시스템

- 암반지하수위 관측공 : 습지 주변 2곳
- 습지 수위 : 지하수위 영향권내 습지 2개소
- 강우량/온도/습도 1식

활용방안

- 무선 PCS 및 인터넷망 구축으로 자료 공유
- 발생 가능한 시나리오별로 대책 마련



또한 터널굴착이 습지 수원에 미치는 영향을 파악하기 위하여 모니터링 시스템을 구축하였다. 모니터링의 주목적은 암반지하수와 습지 수위와의 관계를 규명하는 것으로 터널굴착으로 인해 습지수위가 한계치 이상으로 변화할 경우에는 터널내 선별 그라우팅 후 굴착하는 등의 대책을 수립하여 환경보전에 최선을 기하였다.

습지보전대책외에도 공사구간에 저토피부와 계곡부 등 취약구간에 대해서는 국내 최초로 터널발파에 전자뇌관을 적용하여 1ms 단위의 초정밀 시차를 적용한 파동간섭효과를 이용하여 진동 제어, 암 손상권 저감 및 파쇄도 향상을 도모하였고, 공사중 오염원이 되는 폐수의 누출을 근본적으로 막기 위해 폐수처리시설을 PICAF형 침전방식으로 적용하여 주민들의 식수원이 되는 계곡수에 대한 오염사고를 차단하는 장치를 마련하였다.