

동북계통 자연유하식 도수터널 건설공사



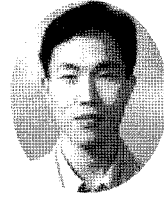
임경호
(주)용마엔지니어링
전무



양국정
(주)평화엔지니어링
차장



박승균
남양건설(주)
전무



이하린
남양건설(주)
차장

I. 사업 개요

본 사업은 전라남도 화순군 동북호에서 상수용 원수를 취수하여 광주광역시 동구 용연동의 정수장까지 급수하기 위한 시설공사로서, 전체 연장 12.0km의 도수터널(외경 2.6m, 내경 2.1m의 원형터널)과 관로 1개소, 그리고 취수탑 1개소로 이루어져 있으며, 공사를 위한 가물막이 1

개소와 진입도로 등 관련 부대시설이 계획되어 있다.

2008년 12월 기본계획 이후 2009년 4월 기본설계 및 실시설계를 거쳐 2009년 12월 본공사를 착공하여 2015년 2월 준공을 목표로 공사가 진행 중에 있으며, 일일 도수 용량은 330,000m³이고 용연 정수장에 공급된 원수는 각종 정수처리 후 일반 가정이나 수요처에 공급된다. 아래 그림 1에 사업 개요를 나타내는 조감도를 나타내었다.



그림 1. 조감도

2. 지형 및 지질 특성

이 지역의 전반적인 지형은 대부분 산지로 이루어져 있으며, 모후산(850m), 윤월산(617m), 밤실산(597m) 등이 위치하여 험준한 산세를 이루고 있다.

지질은 그림 2에 나타낸 바와 같이 노선 동측의 장동 응회암, 중앙부의 무등산 용암, 서측의 안산암, 그리고 제 4기 충적층 등으로 구성되어 있다.

지반 특성 파악을 위해 도수터널의 선형을 따라 각종 탐사, 시추조사 27개소(수평시추 1개소 포함)와 더불어 각종 실내·외 시험 등을 실시하였고, 그 결과, 암질은 전반적으로 양호하며, 소규모의 단층이나 파쇄대가 5개소 분포하고 있는 것으로 예측되었다.

3. 도수터널의 설계

3.1 도수터널 계획을 위한 수리검토

본 도수터널은 자연 유하식 임에도 불구하고, 취수지점인 동북댐 저수위(EL. 144.0m)와 방류 지점인 용연정수장 착수정 만수위(EL. 130.9m)간 수위차가 최소 13.1m 이상이므로 자유수면 터널이 아닌 압력터널로 설계함이 타당하여 이를 적용하였다.

또한, 터널내 안정적인 수두 형성을 위하여 손실수두 값에 따른 수리적 안정여부를 판단하였으며, 단면 크기나 규모 등의 결정을 위해 수리계산을 실시하여 설계 유속과 설계 유량을 만족하는 터널내 통수 단면 $\phi 2.1m$ (내경)를 적용하였다.

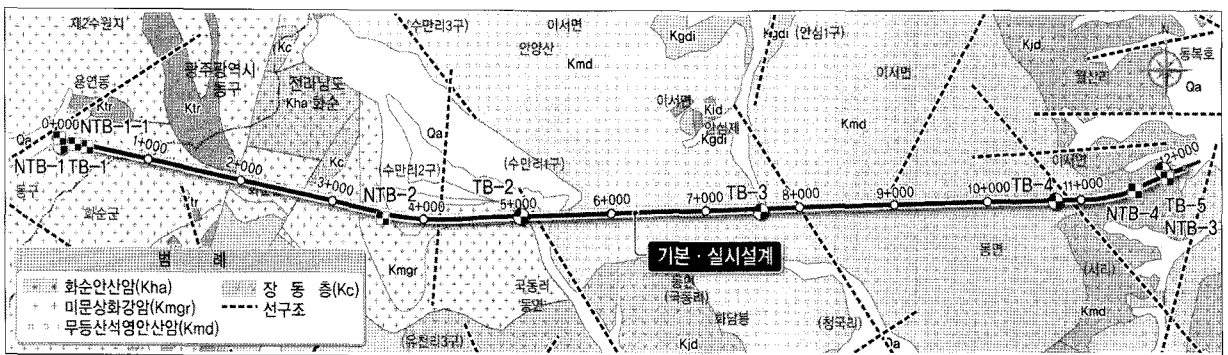


그림 2. 지질도(광주, 동북 지질 도폭)

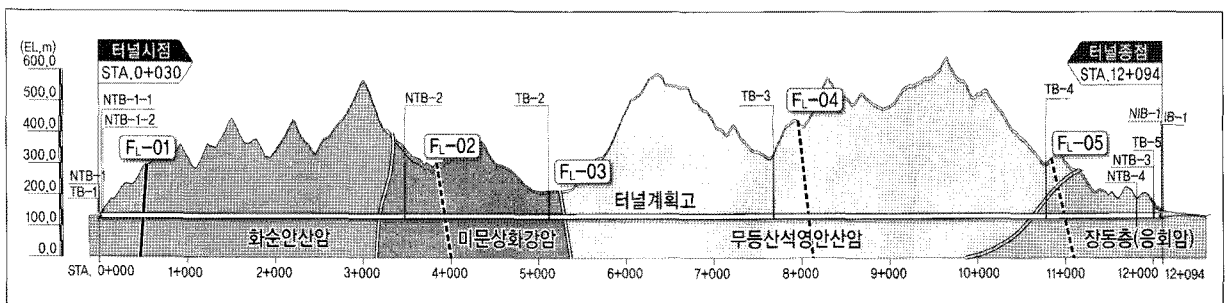


그림 3. 터널내 지층 분포 종단면도

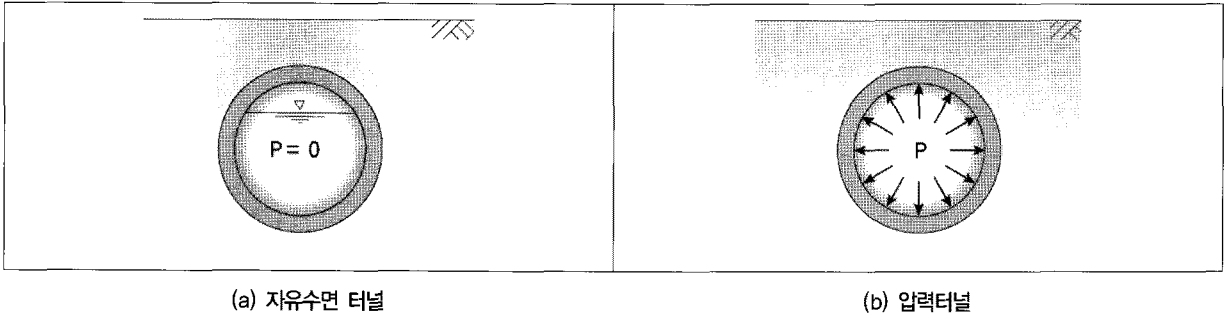


그림 4. 자유수면 터널과 압력터널

표 1. 수리계산 조건 및 수문현황

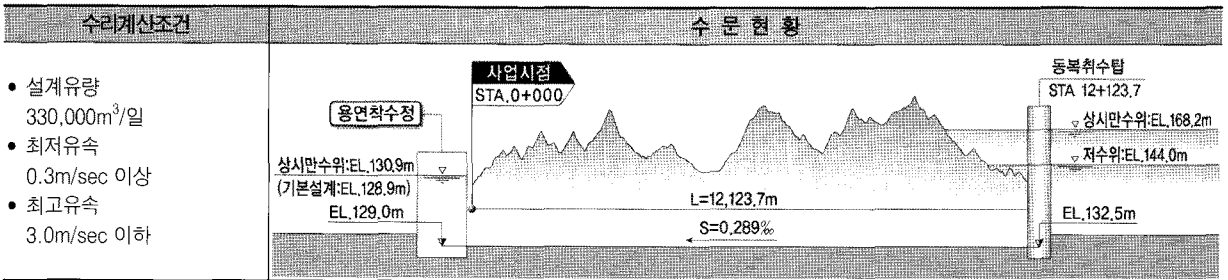
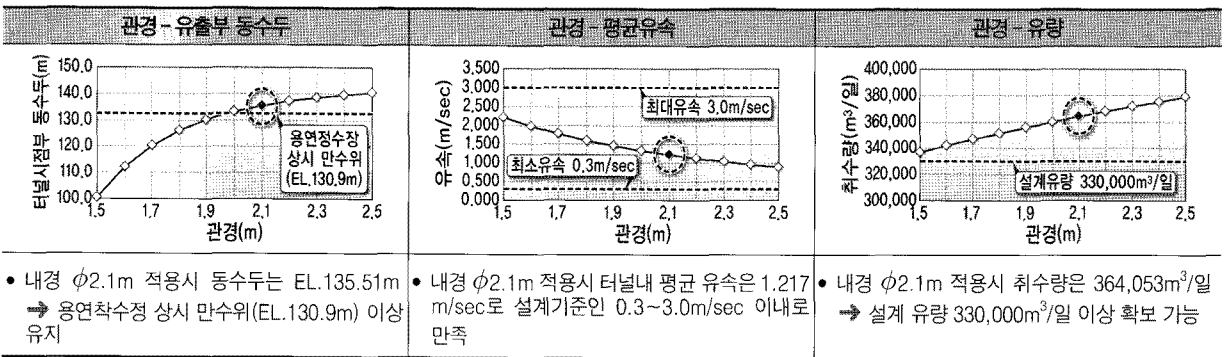


표 2. 도수터널내 수리계산



3.2 터널공법 및 표준단면

본 도수터널은 외경 2.6m의 소단면 장대터널로 계획되었으며 암질이 양호한 산악터널로 시공성 및 경제성을 고려하여 입·출구 pilot 터널을 제외한 본선터널 전구간에

Open TBM 공법을 적용하였다.

터널 사·중점 30m 구간은 TBM 장비 진·출입을 위한 Pilot Tunnel을 설치하고, 중앙부 약 6Km 지점에는 버려과 자재 운반을 위한 광차 교행구간(L=100m) 및 커터헤드와 기타장비의 정비를 위한 대정비 구간을 설치하였다.

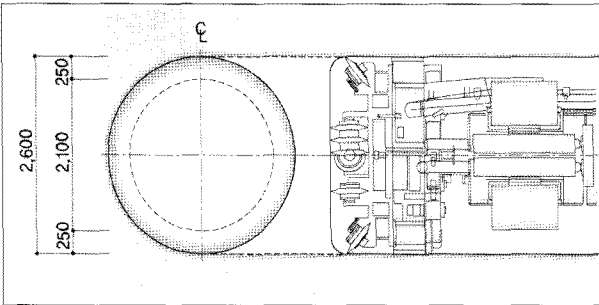


그림 5. 터널 표준단면

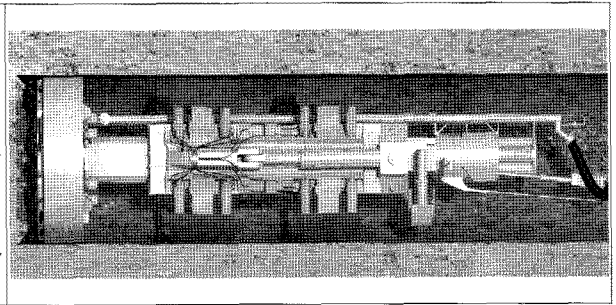


그림 6. 굴착공법(Open TBM)

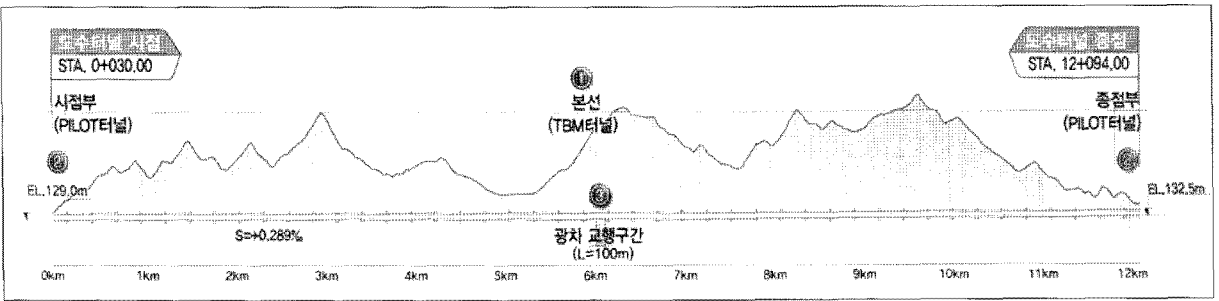
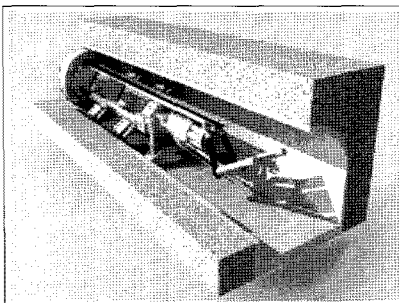
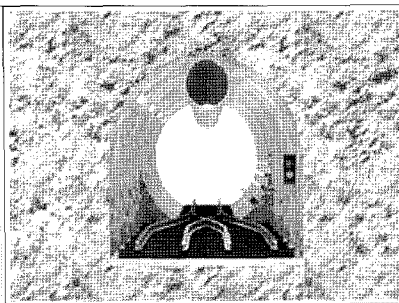


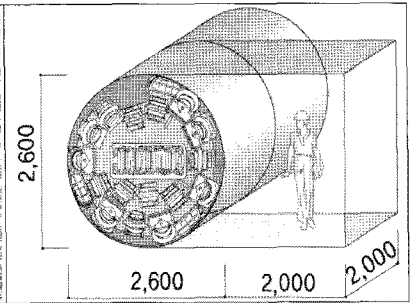
그림 7. 터널 종단면도



(a) Pilot(NATM) 터널



(b) 광차교행 구간



(c) 대정비 구간

그림 8. Pilot 터널, 광차교행 및 대정비 구간

3.3 터널 시공계획

터널내 절리 분포 특성, 시공성, 배수 조건 등을 고려하여 TBM의 주된 굴진 방향은 시점에서 종점 방향으로 계획하였고, 콘크리트 라이닝 타설은 공사기간을 고려하여 터널 중앙부에서부터 양방향 타설(2개조)로 하여 터널

굴착에 38.5개월, 라이닝 타설에 14개월이 소요되어 전체 공기 64개월 이내가 되도록 하였다.

거푸집은 타설속도가 빠르고, 거푸집 내 작업공간이 넓어 시공성이 양호하며, 경제성 측면에서도 유리한 Telescopic Full Round Steel Form을 적용하였다.

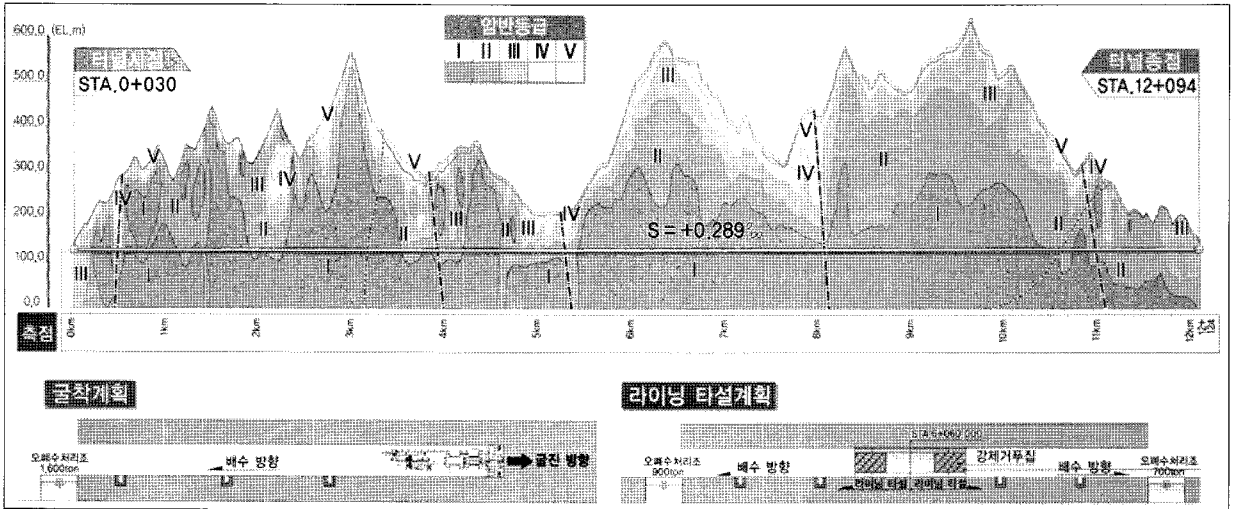


그림 9. 터널 시공계획 개요도

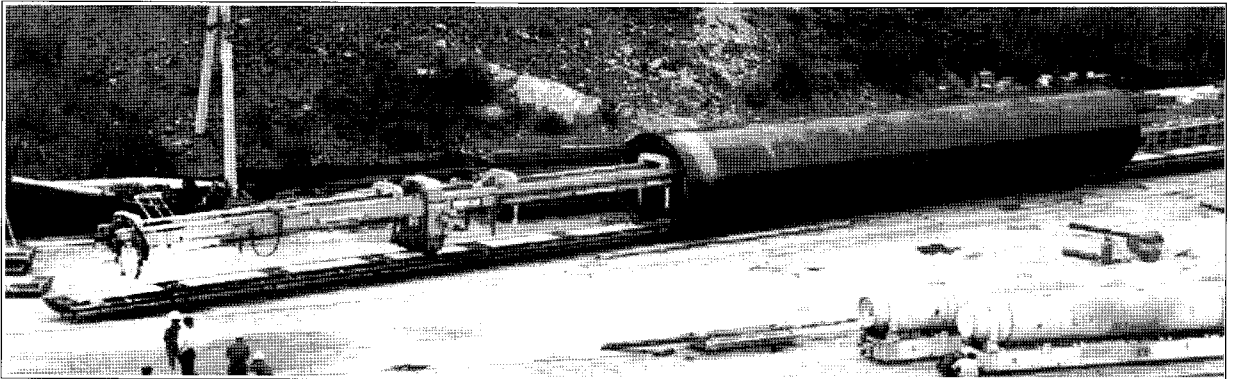


그림 10. 라이닝 거푸집(Telescopic Full Round Steel Form)

4. 기타 수리적 측면에서 도수터널 설계시의 검토사항

4.1 하이드로 잭킹(hydro-jacking)

갱구부나 터널내 토피가 낮은 지역에서는 터널내 내수압이 증가하여 주변 지반의 인장강도를 초과하는 경우, 주변 지반 절리의 확장이나 파쇄 등과 같은 현상이 발생하여 주변 지반에 누수나 세굴을 일으킬 수 있는데 이를

하이드로 잭킹(hydro-jacking)이라 한다. 하이드로 잭킹 현상은 터널내 라이닝이나 기타 보호공이 설치되지 않았을 때 발생할 수 있는 것이지만, 본 프로젝트의 경우 도수터널 내부에 콘크리트 라이닝의 설치를 고려하지 않은 경우로 가정하여 경험적인 방법과 수치해석적인 방법으로 하이드로 잭킹 발생 여부를 검토하였으며, 그 결과 터널 갱구부의 최소 토피가 10.61m 이상이면 하이드로 잭킹 현상이 발생하지 않는 것으로 예측되었다. 하지만 실제 설계에서는 도수터널 전 구간에 콘크리트 라이닝을 계획

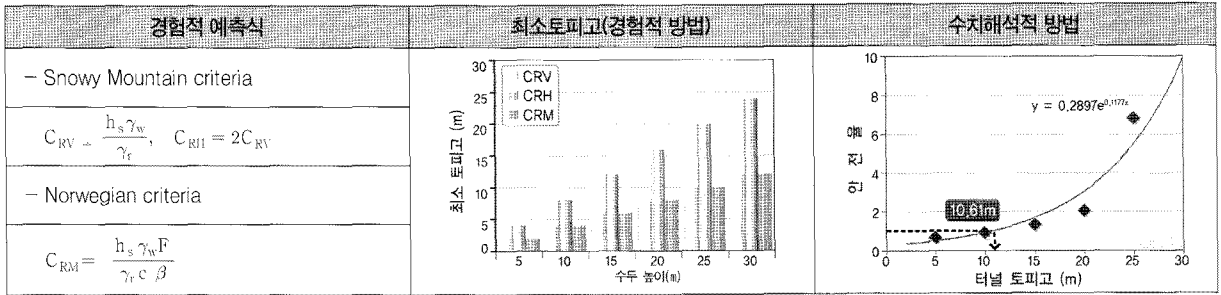


그림 11. 하이드로 잭킹 검토 결과

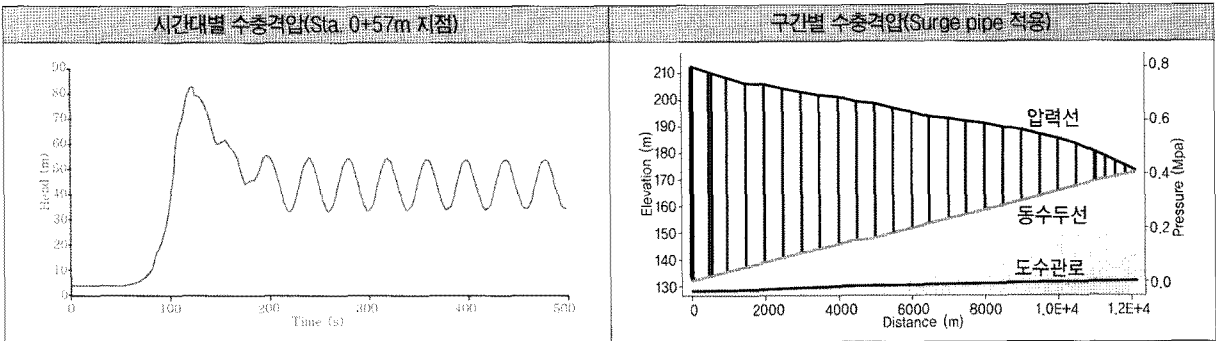


그림 12. 구간별 수충격압 계산결과

하고 갱구부 30m 구간에는 수도용 강관을 추가로 설치하여 하이드로 잭킹 발생 가능성을 근본적으로 배제하였다.

4.2 수격현상(water hammering)

착수정 제수 밸브의 급격한 폐쇄 등과 같은 상황 발생시, 도수관내 유체의 급격한 흐름 속도 변화로 인하여 관로내 상·하류로 수충격파가 급하게 전파되면서 물의 압력이 기기 및 설비의 허용압력 이상으로 상승하거나 물의 포화증기압 이하로 하강하는 수격 현상(Water Hammering)이 발생하게 된다. 이때 발생하는 수격압은 제수 밸브와 같은 기기류 뿐만 아니라 터널내 콘크리트 라이닝의 손상 등과 같은 치명적인 결과를 초래하기도 한다.

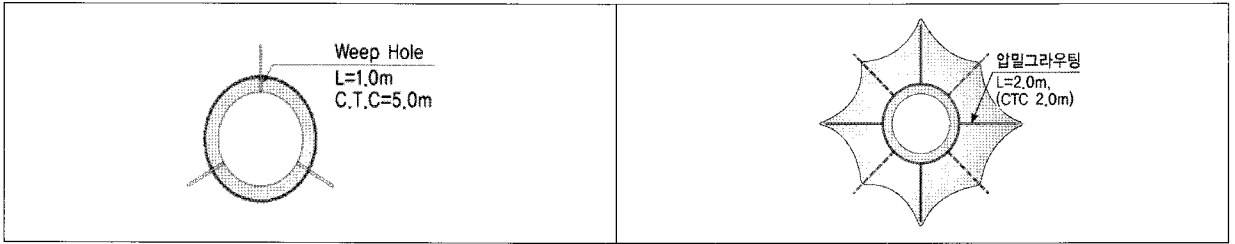
수격압의 영향 검토를 위해, 용연정수장 착수정의 유입 밸브를 전동식 버터 플라이 밸브로 가정하고 유입 밸브의

폐쇄 조건을 긴급 폐쇄와 완급폐쇄로 나누어 고려하였으며, 관내 유체의 정류 및 부정류시 발생하는 압력과 유속에 따른 데이터 분석이 가능한 Surge 2008 프로그램을 사용하여 수격압을 산정하였다.

검토 결과, 긴급 폐쇄(200초) 조건일 때 발생하는 수격압은 최대 0.856MPa, 최소 0.037 MPa이 발생하며, 수격압 영향을 완전히 배제하기 위해 써지 파이프를 1개소 설치하여 콘크리트 라이닝에 영향이 미치지 않도록 계획하였다.

4.3 Weep hole과 압밀그라우팅(Consolidation Grouting)

터널의 유지관리를 위해 도수터널을 단수시키는 경우, 터널에 작용하는 내수압이 소실됨과 동시에 주변 지반의



(a) Weep Hole

(b) 압밀그라우팅

그림 13. Weep Hole와 압밀그라우팅

로 부터의 침투수압이 콘크리트 라이닝에 부과되는데, 작용하는 침투수압을 소산시키기 위해 Weep hole을 설치하게 된다. 본 사례의 경우 한 단면당 길이 2m의 Weep hole을 터널 반경 방향으로 3공, 터널 진행 방향으로 약 3m

간격으로 설치하였다.

또한, 주변 암반의 수밀성 증대와 터널내 유입수량 최소화를 위해 파쇄대, 지하수 유출이 예상되는 구간 그리고 암질이 불량한 지점에는 압밀그라우팅을 계획하였다.