

# 부산지하철 00공구 실드터널 누수부 보수사례



강 인 규  
(주)브니엘컨설팅 대표이사  
(kang-ik@vniel.co.kr)

## 1. 서론

본 사례는 부산지하철 00공구 공사구간 중 수영강 하부 횡단공법으로 시공된 실드터널에 세그먼트 이음부에 누수가 발생하여 이에 대한 보수공법으로 누수부위에 직경 15mm로 천공하여 팽창성 지수재를 주입하는 방식으로 TACSS 공법(일본)이 적용되어 시공된 사례이다.

## 2. 부산지하철 00공구 실드터널 공사요약

### 2.1 지반조건

부산지하철 00공구의 지층은 모래층, 점토 또는 실트층, 점토자갈층, 연암 또는 경암층의 4가지 종류의 복합지반으로 구성되어 있다. 실드터널부의 토층은 전단면 토사부(연장 140m), 토사와 암반의 복합지반부(연장 210m), 전단면 암반부(연장 70m)로 나눌 수 있다. 복합지반부와 전단면 암반부의 암석종류는 안산암 및 유문암으로 일축압축강도는 400~2,900kgf/cm<sup>2</sup>이다.

본 실드터널은 수영강 하부를 횡단하는 터널로서 10m 이상의 높은 지하수압을 받고 있고, 터널 주위지반이 모래층, 점토 또는 실트층, 점토질 자갈층 등 토사층을 관통하는 부분이 상당부를 차지하고 있어 이 구간에서 특히 누수에 취약한 구조를 갖고 있다.

### 2.2 실드 TBM의 제원 및 구성

당 현장에서 사용한 실드 TBM은 이수가압식(Sturry Pressure Balanced, SPB) 실드 TBM으로 막장의 수압과 토압에 대응하여 이수(sturry)를 가압함으로써 막장을 안정시키고 굴착하는 터널굴착장비이다. 당 현장에 적용한 실드 TBM은 토사층, 암반층, 복합지반층 및 자갈층에도

표 1. 부산지하철 00공구에 투입된 실드 TBM 제원

실드 형식	이수가압식(Sturry Pressure Balanced)
실드의 외경	7,280mm
Cutter Head 회전속도	0.8~1.8rpm(실제 운전속도)
추진력	200tf×24개=4,800tf
실드의 총 중량	425tf
실드 TBM의 길이	8,330mm

굴착할 수 있도록 설계되었으며 장비의 내구수명은 약 10km 정도로 제원은 표 1과 같다.

## 2.3 쉴드 터널의 시공

### 2.3.1 세그먼트 제작

당 현장에서 사용한 세그먼트는 평판형으로 철근콘크리트 세그먼트로 6조각의 세그먼트와 K 세그먼트(key stone)로 구성되어 있다. 세그먼트는 직경 7.1m(외경), 6.5m(내경)으로 두께 30cm, 폭 1.2m의 제원으로 총 700링이 생산되었다. 세그먼트의 주요 제작공정은 ① 재료혼합, ② 진동타설, ③ 표면손질, ④ 증기양생, ⑤ 탈형, ⑥ 수중양생으로 수중양생 후 28일 강도는 450kgf/cm<sup>2</sup> 이상이다.

### 2.3.2 쉴드 터널의 시공

당 현장의 쉴드 터널은 장비에 대한 검토 및 설계부터 상·하행선 관통까지 총 38개월이 소요되었고 주요 공정별 소요기간은 다음과 같다.

- (1) 쉴드 장비 검토, 설계 및 제작기간: 18개월
- (2) 운반, 설치 및 조립기간: 11개월
- (3) 하행선 굴진기간: 11개월
- (4) 쉴드장비 회전기간: 2개월
- (5) 상행선 굴진기간: 4개월

하행선의 쉴드터널 시공시에는 Flat형 면판과 14인치 Disk Cutter를 사용하여 굴착한 결과 잦은 Cutter 장비의 교체로 11개월의 공사기간이 소요되었으나, 상행선 시공시에는 Dome형 면판과 17인치의 Disk Cutter로 교체 사용하여 4개월만에 관통하였다.

### 2.3.3 뒤채움 그라우팅(Backfill Grouting)의 시공

뒤채움 그라우팅(Backfill Grouting)은 쉴드 TBM의 굴착경과 세그먼트 외경의 공간을 그라우팅재로 채워주는 공정으로 뒤채움 그라우팅의 목적 및 주입방법은 다음과 같다.

#### (1) 뒤채움 그라우팅의 목적

- 1) 원지반 붕괴에 의한 지반침하의 방지

- 2) 토압, 쉴드 추진압을 세그먼트에 균질하게 전달
- 3) 지수효과
- 4) 주입후 초기강도의 확보
- 5) 쉴드 굴착시의 지반반력의 확보
- 6) 세그먼트의 조기강도

#### (2) 뒤채움 그라우팅 주입방법

당 현장에서는 뒤채움 그라우팅 주입을 즉시 주입하는 방법을 적용하였으며, 주입방법은 다음과 같다.

- 1) 동시주입 : 쉴드기측에서 추진과 동시에 시공
- 2) 반동시주입 : 세그먼트 그라우트 구멍에서 추진에 맞춰서 시공
- 3) 즉시주입 : 세그먼트 그라우트 구멍에서 1링 굴진 완료시마다 시공
- 4) 뒤쪽주입 : 세그먼트 그라우트 구멍에서 수 링 뒤쪽으로 시공

## 3. 쉴드터널 누수대책

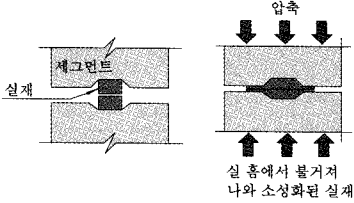
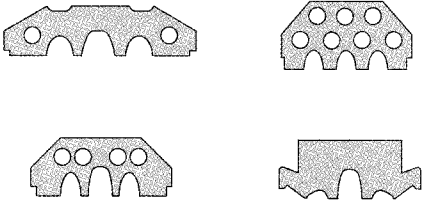
### 3.1 방수형 비배수 쉴드터널의 세그먼트 방수처리

#### (1) 개요

세그먼트는 터널의 구조적 기능 뿐 아니라 방수 기능을 담당한다. NATM 터널의 경우에는 터널 굴진과 보강 작업이 완료된 후에 방수 작업이 수행된다. 하지만 쉴드 터널의 경우에는 세그먼트의 이음부 처리, 세그먼트 뒤채움 등을 쉴드 TBM 굴진 중에 세그먼트 설치 작업과 동시에 수행하여야 한다.

쉴드 터널의 방수 품질은 지수재의 성능, 공법 이외에도 굴진과 세그먼트의 조립 상태 등의 전체 공정과 밀접한 관계를 가지고 있다. 따라서, 허용오차 내에서의 정밀한 세그먼트의 조립이 구조적인 측면 뿐 아니라 방수의 측면에서도 전제조건이 된다. 쉴드 터널에 있어서 확실한 지수 효과를 얻기 위하여 Seal재를 이용한 연결부 방수 및 코킹 방수, 볼트 구멍 방수를 하고 있다.

표 2 수팽창성 지수재와 가스켓의 단면 및 특징

구분	수팽창성 지수재	가스켓
표준단면		
방수기능	<ul style="list-style-type: none"> <li>수팽창성 고무를 실(Seal)재로 사용하여 팽창한 고무가 세그먼트의 공극을 막아 지수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>탄성고무재료를 실(Seal)재로 사용하여 압착시켜 세그먼트 공극을 막아 지수</li> </ul>
장점 단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>Key 세그먼트 형식에 주로 사용</li> <li>시공오차에 따른 누수 가능성 적지만 팽창고무의 내구성이 불확실하다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>지수재의 내구성이 우수</li> <li>수팽창성 지수재를 가운데 끼워넣어 성능 항상 가능</li> <li>시공시 밀림현상으로 누수 부위 발생</li> </ul>
적용 사유	<ul style="list-style-type: none"> <li>수팽창성 지수재와 가스켓을 1열씩 배치하여 누수의 가능성을 줄이며, 시공시에 조기 방수 가능 및 자재의 상호 보완 작용의 효과를 얻을 수 있다.</li> </ul>	

(2) 실(Seal)재

쉴드 실(Seal)재는 탄성재로서 쉴드 TBM 추력, 세그먼트의 변형 및 수압에 대한 수밀성을 확보할 수 있어야 하며 볼트 체결력에 견딜 수 있어야 하고, 세그먼트 조립 정도에 나쁜 영향을 미쳐서는 안 된다. 또한 실(Seal)재 상호간 및 세그먼트와의 접착성이 있어야 하며 내후성, 내약품성이 우수해야 한다. 실(Seal)재로 사용되는 수팽창성 지수재와 가스켓의 단면 및 특징을 요약하면 표 2와 같다.

(3) 코킹 방수

1) 사용목적 : 세그먼트 이음 줄눈의 홈에 코킹재를 충전하여 이음부위 방수

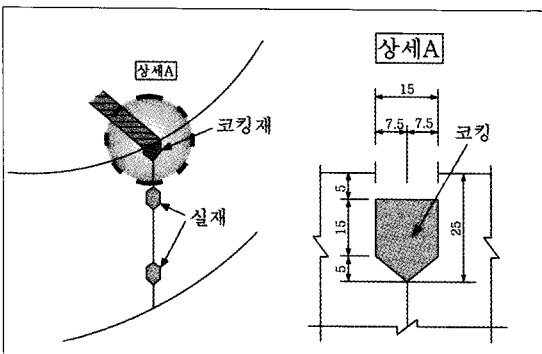


그림 1. 코킹 방수 상세

2) 시공방법 : 쉴드 추력이 없는 상태에서 볼트의 추가재 조임이 끝난 후 시행

3) 재료특성 : 수압에 견딜 수 있도록 수밀성, 습윤 상태에서 시공이 가능한 접착성, 세그먼트 링과 같이 움직이는 신축성이 필요

(4) 볼트 구멍 방수

1) 사용목적 : 실(Seal)방수와 코킹방수로 지수가 되지 않는 볼트 구멍부 방수

2) 시공방법 : 볼트 구멍과 볼트용 와셔 사이에 링모양의 패키지를 설치

3) 재료특성 : 볼트 체결시 볼트 구멍에서의 누수방지

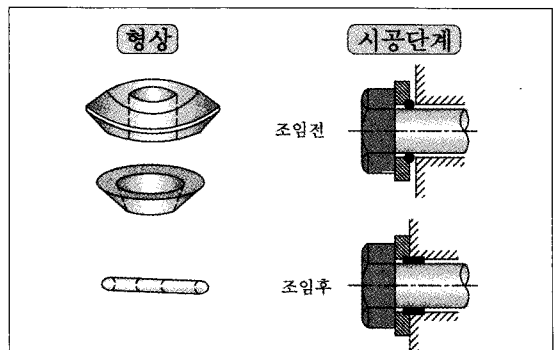


그림 2. 볼트 구멍 방수 상세

표 3. 쉴드터널 누수 원인 및 보완

취약 부위	원인 추정	대 책
세그먼트 연결부(곡선부)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 세그먼트의 부정확인 조립</li> <li>• 세그먼트의 파손</li> <li>• 지수재의 불량</li> <li>• 부적절한 뒤채움</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지수재 이중 배치</li> <li>• 세그먼트 품질 관리 철저</li> <li>• 코킹 방수 시행</li> </ul>
이음 볼트공	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 볼트 체결력 저하·연결부위의 손상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 볼트 연결 철저</li> <li>• 필요시 간극 충전</li> </ul>
주입공 주변	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주입공 주변의 배면공극에 지하수 유입</li> <li>• 지하수와 세그먼트의 접촉에 의한 백태 현상 발생</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주입공 자체를 실(Seal)재로 방수</li> </ul>
수직구와 쉴드 접합부	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 세그먼트와 수직구 구조물의 방수 방식의 차이</li> <li>• 접속부는 기하학적으로 복잡</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 접속부 방수 방법 시행</li> </ul>

### 3.2 쉴드 터널 누수 원인 및 보완

쉴드 터널 누수 원인 및 보완은 표 3과 같다.

### 3.3 서울지하철 00공구 쉴드터널 누수 대책 사례

서울지하철 00공구 쉴드터널의 경우 세그먼트에 발생한 누수부에 대해서 발포우레탄 주입을 실시하여 지수하였으며, 시공방법은 다음과 같다.

#### (1) 천공

- 1) 누수부에서 약 10cm의 기점에 좌우측을 교대로 약 30~35°의 각도로 기울여 천공 실시
- 2) 좌우측 천공간격은 15~20cm 정도

#### (2) 패커설치

- 1) 각 부위별 직경에 맞는 패커를 삽입하고 렌치를 사용하여 패커의 패킹부에 밀착되도록 조임
- 2) 정착깊이는 패커의 절단부가 콘크리트 표면보다 약 5mm 정도의 깊이로 함

#### (3) 균열 내부 청소

전동식 고압주입기를 가동하여 천공내부를 물세척

#### (4) 그라우팅

- 1) 수평면 주입은 처음 시작부터 차례로 주입하며 수직부는 하단부터 시작하여 상단부로 시공
- 2) 누수부로 우레탄 수지가 흘러나올 때까지 5kgf/cm<sup>2</sup> 씩 서서히 주입
- 3) 발포 우레탄 수지가 누수부로 흘러나오면 다음 주입구로 이동하여 작업

#### (5) 패커제거

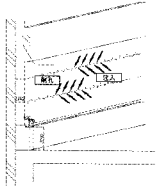
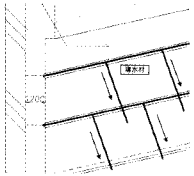
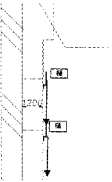

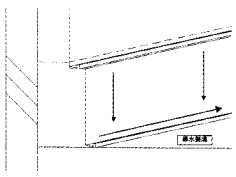
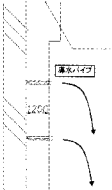
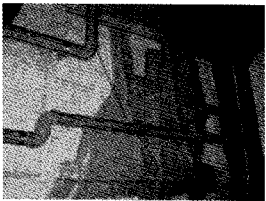
- 1) 누수부위가 남아있으면 재차 주입
- 2) 24시간 경과 후 패커 제거

### 3.4 누수처리대책

누수처리대책 공법을 비교하여 요약·정리하면 표 4와 같으며, 기본적으로 지수공법과 유도배수공법으로 대별할 수 있다. 유도배수공법은 누수를 허용하여 이것을 유도배수하는 방법으로 산악터널의 복공 등의 무근 콘크리트에 주로 사용되어 왔으며, 무근 콘크리트의 경우 철근의 부식 걱정이 없어 효과적이다. 또한 지수공법의 경우에는 시공성은 우수하나 한 곳에 시공하여 누수를 막는다 해도 다른 곳에서 누수가 발생하는 문제가 있어 지속적인 유지관리가 필요하다.

## 4. TACSS 공법

표 4. 누수처리대책 비교표

개 념 도	개 요	문 제 점
<p>① 지수주입</p> 	<p>크랙을 따라서 주입용 천공을 실시해, 주입용 바이브레이터 등을 부착하여 천공홀에 주입 재료(각종 수지나 시멘트 등)를 가압하여 주입하는 방법.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 배면의 도수재가 막힐 우려가 있다.</li> <li>- 1개소를 지수해도 다른 크랙으로 누수되는 경우가 많다.</li> <li>- 공사비가 비싸다.</li> </ul>
<p>② V-Cut 도수</p> 	<p>크랙을 따라서 콘크리트 표면을 V자 또는 U자로 컷팅해서 이곳으로 통수 가능한 튜브모양의 도수재를 매설하여 도수하는 방법. 컷팅부 표면은 코킹재 또는 급결 모르타르로 마감한다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 콘크리트를 어느 정도는 컷팅해야하므로, 구조검토가 필요.</li> <li>- 도수재가 막힐 우려가 있음.</li> <li>- 배수구배의 확보와 배출구의 위치의 확인.</li> </ul>
<p>③ Channel 도수</p> 	<p>크랙을 따라서 스테인레스(또는 PVC)의 Channel을 매달아서 도수하는 방법.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Channel이 막힐 우려가 있음.</li> <li>- 배수구배의 확보와 배출구의 위치 확인.</li> </ul>
<p>④ Panel 도수</p> 	<p>누수되는 벽면 전체를 도수 Panel로 붙여서 도수함. 도수 Panel은 이중구조로 되어 있으며, 내측으로 물이 흐르고 외측으로는 물이 빠져나가지 못한다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 누수범위가 넓을 경우에는 유리하지만, 국부적인 누수의 경우에는 손실이 많다.</li> <li>- 도수 Panel이 막힐 우려가 있음.</li> <li>- 배수구배의 확보와 배출구의 위치 확인.</li> </ul>
<p>⑤ 측구도수</p> 	<p>벽체에 지수 모르타르 등으로 측구를 만들어, 벽체를 따라 누수되는 물은 받아 배출구로 유도한다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 측구의 지수성이 좋지 않으면 상판의 크랙으로부터 물이 새어 하층으로 누수된다.</li> <li>- 배수구배의 확보가 어렵다.</li> <li>- 벽면의 누수가 보이는 상태로 있다(보이지 않게 하기 위해서는 별도 공정이 필요하다).</li> </ul>
<p>⑥ 천공도수</p> 	<p>크랙 누수 개소 만큼 천공하여 도수용 파이프를 설치한다. 크랙면을 따라 누수되는 물을 천공홀로 유도하여 배수한다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 모든 누수를 천공한 도수용 파이프를 집수하기 어렵다.</li> <li>- 마무리가 미관상 뛰어나지 않다.</li> <li>- 배수구배의 확보와 배출구의 위치 확인.</li> </ul>
<p>⑦ 흡수테이프 도수</p> 	<p>크랙에 흡수성이 좋은 흡수 테이프를 붙여 모세관 현상으로 누수를 흡수한다. 흡수테이프는 FRP 라이닝으로 피복되어 있기 때문에, 누수된 물은 흡수 테이프를 따라서 배수관으로 유도된다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대량의 누수에는 적합하지 않다.</li> <li>- 마무리가 미관상 뛰어나지 않다.</li> <li>- 공사비가 비싸다.</li> </ul>

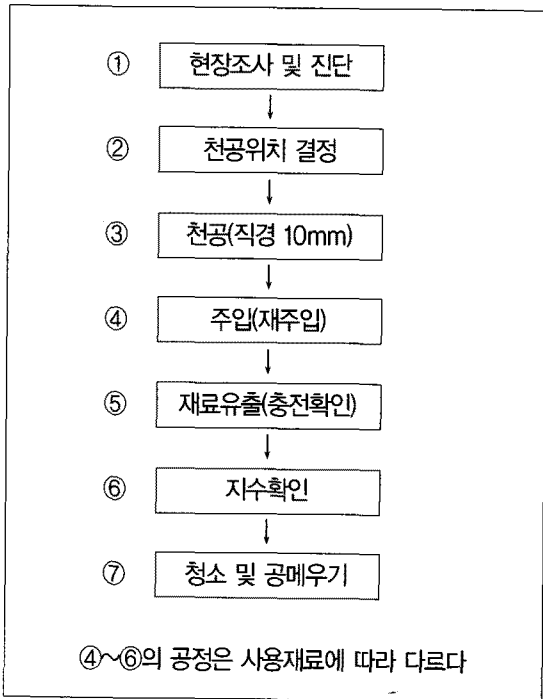


그림 3. TACSS 공법의 시공순서

### 4.1 공법개요

TACSS 공법은 1액시스템으로 사용되는 약액은 소수성 인 이소시아네이트 화합물이 주성분으로 구조물과 지중에 서 물과 반응하여 물에 불용성의 폴리요소겔을 만든다. 이 폴리요소겔은 크랙과 토립자와의 간극을 충전하여 토립자 를 강하게 결합시켜 강한 고결체를 형성한다. 또한 가수반 응시에 발생하는 탄산가스는 겔화 과정의 그라우트 중에

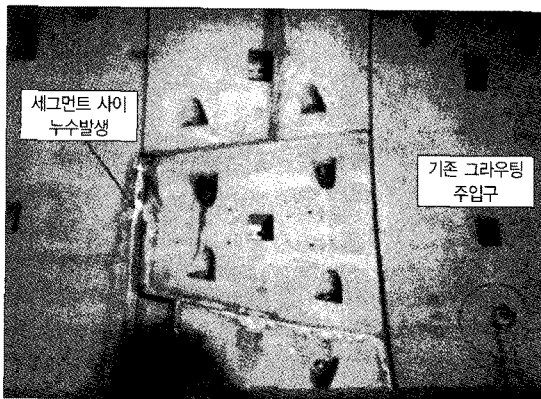


그림 4. 누수 전경(32K410 지점)

미세한 기포로 분포하여 약액의 침투를 촉진시킴과 동시에 주입량보다 수배로 큰 고결체를 형성하는 것이 가능하다. TACSS 공법의 시공순서는 그림 3과 같다.

### 4.2 시험시공결과

#### 4.2.1 시험시공 개요

TACSS 공법에 대한 신뢰성을 확인하기 위해 시험시공 이 실시되었다. TACSS 공법의 시험시공에 있어서 뒤채움 그라우팅(Backfill Grouting) 주입구에 지수제를 주입하는 방식 및 누수부의 세그먼트와 세그먼트 사이를 천공하여 주입하는 방식 등 주입방식에 따른 지수상태를 확인하여 주입방식에 대한 검토가 이루어졌다.

#### 4.2.2 시험시공 결과

(1) 뒤채움 그라우팅 주입구에 지수제를 주입한 경우 뒤채움 그라우팅(Backfill Grouting) 주입구에 직경 12mm, 깊이 350mm로 천공하여 주입구를 통해 3kgf/cm<sup>2</sup>의 압력으로 TACSS(이소시아네이트 화합물)를 주입하였으나, 개소당 0.5ℓ 이상은 주입이 되지 않아 세그먼트 배면 지 반의 공극을 충분히 충전하지 못하는 것으로 확인되었다.

(2) 누수부의 세그먼트와 세그먼트 사이를 천공하 여 주입한 경우

세그먼트 조인트부에 직경 10mm, 깊이 350mm로 천공 하여 패커를 설치한 후 주입구를 통해 3kgf/cm<sup>2</sup>의 압력으



그림 5. 뒤채움 그라우팅 주입구에 지수제를 주입하는 방식

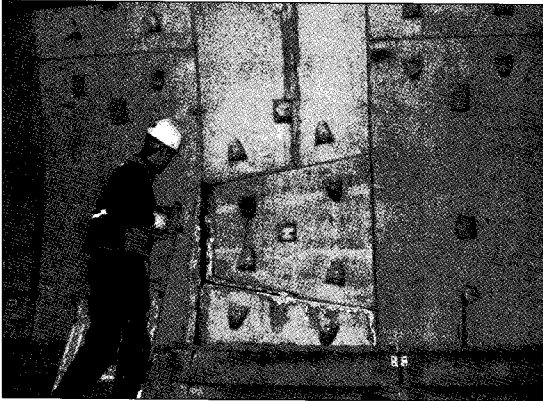


그림 6. 누수부의 세그먼트와 세그먼트 사이를 천공하여 주입하는 방식

로 TACSS(이소시아네이트 화합물)를 주입한 결과, 개소당 약 9~15ℓ 가 주입되었고 주입 후 지수상태가 양호한 것으로 확인되었다.

## 5. 종합의견

본 사례는 부산지하철 00공구 공사구간 중 수영강 하부 횡단공법으로 시공된 쉐드터널에 세그먼트 이음부에 누수가 발생하여 이에 대한 보수공법으로 TACSS 공법(일본)이 적용된 사례로 이상의 내용을 요약하면 다음과 같다.

### (1) 관련자료 분석 및 검토

본 쉐드터널은 수영강 하부를 횡단하는 터널로서 10m 이상의 높은 지하수압을 받고 있고, 터널 주위지반이 모래층, 점토 또는 실트층, 점토질 자갈층 등 토사층을 관통하는 부분이 상당부를 차지하고 있어 이 구간에서 특히 누수에 취약한 구조를 갖고 있다. 쉐드터널에 있어서 세그먼트와 세그먼트사이의 조인트부에 대한 누수차단을 위해 2중 3중으로 실(Seal)재 및 코킹 방수처리를 하고 있으나, 지하수위가 높은 지형적인 요소로 인해 완벽한 방수를 위한 시공은 매우 어려운 실정으로 누수 발생시 적합한 지수공법의 병행은 불가항력적으로 필요한 상황이라 판단된다.

### (2) 유사사례 조사 및 검토

국내의 쉐드형태의 터널에 있어서 누수는 세그먼트와

세그먼트 사이의 조인트부에서 발생하고 있으며, 이에 대한 지수방법으로 누수부에 직경 10mm 정도의 소구경 천공을 하여 천공홀을 통해 우레탄계 약액을 주입하여 균열부 틈새를 충전하여 지수하는 방법을 채택하여 사용하는 것으로 조사되었으며, 본 쉐드터널의 누수 방지를 위해 시험시공된 TACSS 공법의 경우 지수효과가 있는 것으로 확인되었다.

### (3) 누수보수공법의 적정성 검토

본 쉐드터널의 세그먼트와 같이 철근 콘크리트 구조물의 경우 누수를 그대로 방치하면 구조물로서의 내구성 저하가 염려되므로 지수 공법의 적용이 적절하다고 판단된다.

지수 공법으로는 우레탄 수지에 의한 주입 공법이 좋을 것으로 판단된다. 우레탄 수지의 경우 작은 틈새 및 미세한 균열에 대해 주입 침투가 용이하고 물과 반응하여 경화됨에 따라 유수에서도 지수 효과가 큰 특징이 있다. 또한 우레탄 수지의 경우 팽창 및 수축 등으로 누수가 다시 발생할 가능성이 적다.

우레탄 수지의 종류로는 소수성과 친수성이 있으며, 소수성은 물과 희석할 수는 없지만 친수성은 물과 혼합하고 주입을 할 수 있다. 양자 모두 물과 접촉하면 경화되지만, 친수성은 경화 후 항상 주위에 수분이 없으면 지수성을 유지할 수 없고 건조하면 수축해 누수가 다시 발생한다. 즉 친수성 우레탄 수지의 경우에는 내구성이 떨어지므로 내구성이 우수한 소수성 우레탄 수지(TACSS 공법 등)를 사용하는 것이 적합하다고 판단된다.

TACSS 공법 적용시 지수제 주입구 천공은 세그먼트와 세그먼트 사이의 조인트부에 직각방향으로 천공하여 주입제(TACSS)를 주입하는 것으로 계획하였으나, 서울지하철 00공구 쉐드터널의 누수 보수사례 및 일본의 누수 보수사례를 살펴본 바, 그림 7과 같이 누수면에 대해 약간 기울여 천공한 후 주입하여 균열부를 충전하도록 하고 있으므로 본 쉐드터널 누수보수시 TACSS 주입구는 세그먼트 조인트부에 대해 약간 기울여 천공하였다.

### (4) 지수제 주입방식에 대한 검토

시험시공 결과로 판단해 볼 때, TACSS 공법의 적용시

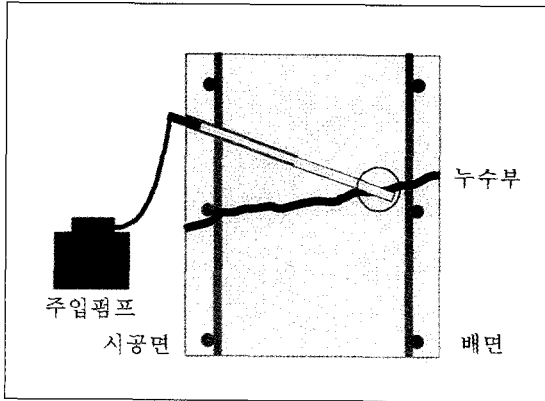


그림 7. TACSS 공법 적용시 지수제 주입구 천공

지수제의 주입은 뒤채움 그라우팅(Backfill Grouting) 주입구에 지수제를 주입하는 방식보다는 누수부의 세그먼트와 세그먼트 사이를 천공하여 주입하는 방식이 보다 효과적이며 지수효과도 우수할 것으로 판단된다. 또한 일본의 사례에 있어서도 구조적인 검토 없이 소구경 천공 후 지수제를 주입하는 방식으로 보수설계하고 있는 것으로 볼 때, 주입구는 직경 15mm이하의 소구경으로 콘크리트 세그먼트의 구조적인 문제를 초래할 수 있을 정도의 손상은 주지 않을 것이라 판단된다. 그러나 세그먼트 조인트부의 응력집중 등으로 주입구 천공면 주면을 따라 균열이 발생하지 않도록 천공면이 모가 나지 않고 원형으로 천공될 수 있도록 천공시 마무리에 유의하여야 한다.

## The 1st Korea-Japan Joint Workshop on Unsaturated Soils 개최 및 논문접수 안내

불포화지반연구회에서는 불포화토 관련 연구동향 파악과 연구자들간의 교류증진을 위하여 일본 불포화토연구회와 한일 공동 Workshop을 개최합니다. 관심있는 회원 여러분들의 많은 참여 부탁드립니다.

- 주제 : 불포화 지반공학 전문분야
- 일시 : 2009년 9월 11일 (금)
- 장소 : 단국대학교(죽전캠퍼스)
- 주관 : 한국지반공학회, 불포화지반연구회
- 논문접수 일정
  - 제목(영문) 및 저자(발표자 명기) 제출 : 7/17(금)까지 E-mail 접수(별도 양식 없음)
  - Full paper(영문) 제출 : 8/21(금) E-mail 접수 (논문작성양식 별도 제공 예정)
- 논문접수 및 문의
  - 박성완(단국대학교) 031-8005-3472 (spark@dankook.ac.kr)
  - 김영석(한국건설기술연구원) 031-910-0371 / 오명학(한국해양연구원) 031-400-7817