

# 재래식 터널의 누수·고드름 방지 공법<sup>\*1</sup>

정 호 섭<sup>\*2</sup>, 김 동 규<sup>\*3</sup>

## 1. 시작하며

1980년대 서울지하철 3/4호선의 건설을 위해 도입된 신개념의 터널 시공법인 NATM이 국내에 소개되기 이전에 건설된 대부분의 재래식 터널은 지보재로 콘크리트 라이닝(혹은 강지보재 포함)만으로 건설되었다. 이러한 재래식 터널은 설계시 지하수 배수에 대하여 고려하지 않았으며 현 시점에서는 터널건설 후 상당한 시간의 경과와 더불어 지보재의 노후화로 누수에 대한 문제가 심각하게 대두되고 있다. 또한, 동절기에는 누수된 지하수가 얼어서 터널내에 고드름 또는 얼음덩어리로 존재하여 공용중인 재래식 터널내부에서 사고를 유발시키는 원인이 되고 있다.

본 고에서는 최근 국내에서도 연구가 진행되고 있는 공용중인 터널의 보수보강 공법 개발에 도움이

되고자 누수와 고드름 방지를 위해 일본에서 수행된 4개 터널의 보수보강사례를 소개하고자 한다.

## 2. 방수판을 이용한 누수방지공법

### 2.1 터널 기본정보

가. 연 장: 50.6m

나. 준공년월: 불명

다. 단면형상: 폭원 6.2m, 높이 4.85m

(그림 1 참조)

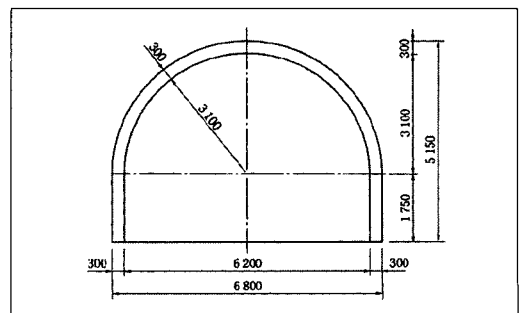


그림 1. 표준 단면도(단위 : mm)

<sup>\*1</sup> 원저자 및 출처: 猪熊明, 현장 기술자를 위한 터널 유지관리 실태, 산해당, 2004

<sup>\*2</sup> 한국건설기술연구원, 지반연구부, 선임연구원 (hsnsj97@kict.re.kr)

<sup>\*3</sup> 한국건설기술연구원, 지반연구부, 선임연구원 (dgkim2004@kict.re.kr)

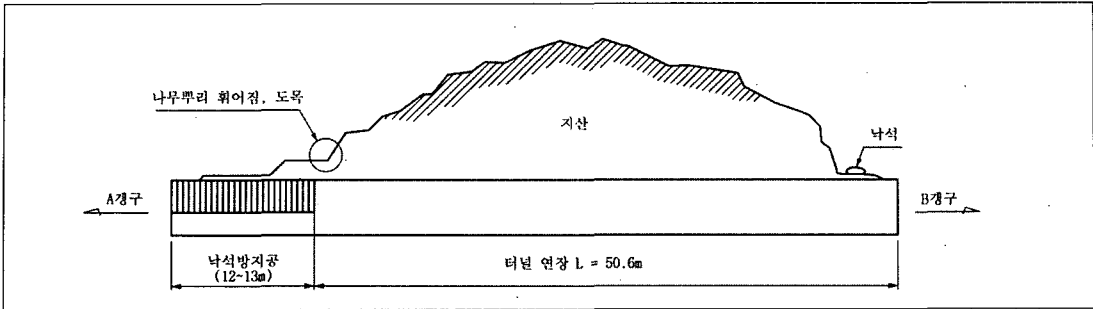


그림 2. 주변 상황

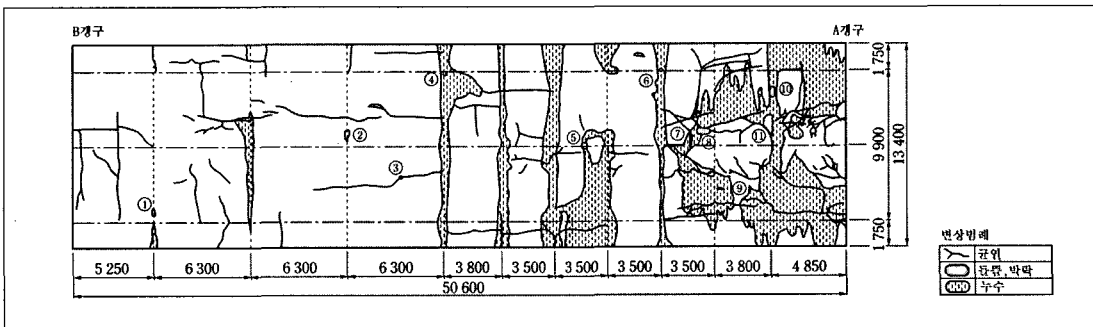


그림 3. 변상 전개도(단위 : mm)

라. 주변상황

주변답사의 결과는 다음과 같다(그림 2참조).

- ① 지반은 점토층으로 추정된다.
- ② A 갱구측의 지반에서는 나무뿌리가 휘어지거나 나무가 넘어진 것이 확인되었다. 또한 갱구로부터 12~13m의 길이에 걸쳐서 터널이 건설된 후 낙석 방지를 위한 시설이 건설되었다. 이것은 갱구사면파괴, 갱구의 붕괴 및 매몰의 위험성을 방지하기 위한 것이다.
- ③ B 갱구측에서는 갱구에서 5m 정도의 구간이 토피도가 매우 낮은 상태이며 터널갱구부 상부 지반위에서 낙석도 확인되었다.

현장조사에 의하여 얻어진 변상의 종류를 그림 3의 전개도에 나타내었다.

이것에 의하면

- ① 균열은 터널 전 길이에 걸쳐서 분포되었으며 특히 A 갱구부근에 집중되어 있으며 누수도 이 부근에서 집중되어 있다.
- ② 시공 줄눈부에도 누수와 백태 현상이 발견되었지만 들뜸과 박락이 보이는 곳은 적었다.
- ③ 터널내부에서 광범위하게 누수가 일어나므로 인명피해같은 민원이 발생할 소지가 있었다.
- ④ 본 터널내부에서는 매우 경미하지만 동해에 대한 위험을 가지고 있기 때문에 동결응해에 의한 콘크리트 라이닝의 열화 진행이 예상되었다.

2.2 조사 · 변상

## 재래식 터널의 누수·고드름 방지 공법

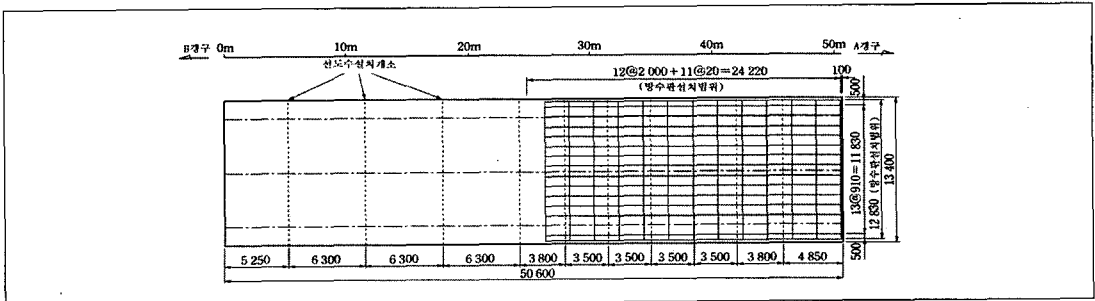
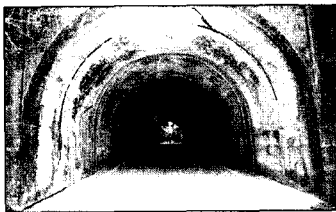


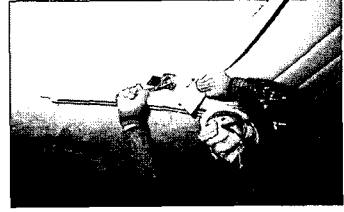
그림 4. 선상 방수공법 및 면상 방수공법의 시공 위치(단위 : mm)



(a) 시공전



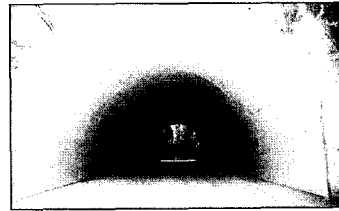
(b) 균열과 누수의 상황



(c) 방수판 부착을 위한 금속을 설치



(d) 크라운부분부터 방수판의 설치



(e) 완성

사진 1. 시공 현황

### 2.3 보수·보강공법

- ① 유도배수를 이용한 누수방지공법을 채택하였으며 시공준비부의 누수에는 유도배수로를 이용한 방수공법(선상방수공법)을, 누수가 광범위하게 걸쳐져 있는 A 갱구측에는 방수판을 이용한 방수공법(면상방수공법)을 채용하는 것으로 하였다.
- ② 방수판을 이용한 방수공법에는 동해의 영향을 고려하여 단열효과가 있는 방수판을 이용하는

것으로 하였다.

- ③ 보조공법으로는 균열에 수지를 주입하고 매끈하게 표면처리를 하였다.
- 선상방수공법 및 면상방수공법의 시공위치를 그림 4에 나타내었다(사진 1참조).

### 2.4 유의점

콘크리트 라이닝 표면에 발생한 들뜸과 박락은 장비를 이용하여 처리한 후 표면을 평탄하게 처리하는

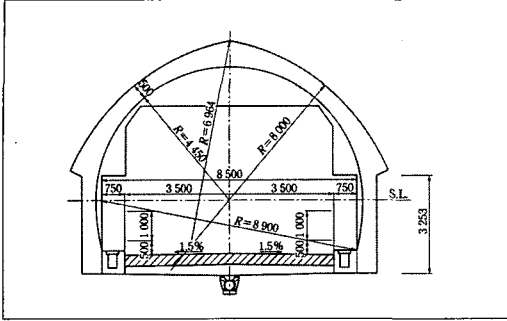


그림 5. 표준 단면도

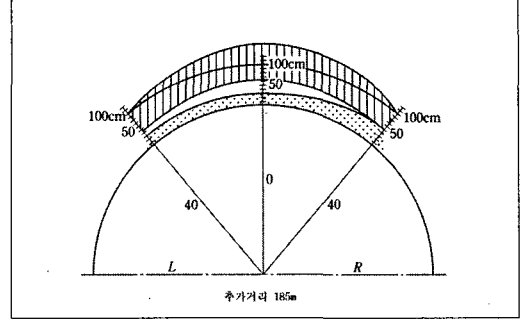


그림 6. 공동조사 결과

마무리 작업을 수행하였다.

### 3. 배수공을 이용한 방수방지공법

#### 3.1 터널 기본 정보

- 가. 연 장: 1256.0m
- 나. 준공년도: 1965년
- 다. 단면형상: 그림 5 참조

#### 3.2 조사·변상

지질은 신제3기의 사암을 관통하는 화성암으로 구성된 후 나중에 제4기의 애추퇴적물 및 하상퇴적물 등이 분포한다. 터널 시작부는 사암이 분포하고 종점부는 혈암과 편암이 서로 층을 이루어 분포한다. 사암층과 혈암층으로 이루어진 곳에서는 점토질 파쇄대가 존재하였으며 용수 누출 현상이 발견되었다.

본 터널은 선진도갱방식으로 건설되었으며 발파에 의한 굴착을 한 후 Sheet pile을 이용하여 지반을 지지하는 공법으로 시공되었다. 콘크리트 라이닝은 콘크리트 펌프를 이용한 압송파이프 인발방식으로

타설되었다. 조사 및 기존 자료분석 결과로부터 알 수 있는 변상은 '콘크리트 라이닝 배면의 공동' '콘크리트 라이닝의 균열 및 박리' '측벽으로부터의 용수' 로서 3개 항목을 들 수 있다.

배면공동은 천단부에 30cm 이상 최대 96cm 규모를 가지고 거의 연속적으로 이어져 있었다. 콘크리트 라이닝의 두께는 평균적으로 35cm 이상 이었고 돌발적인 천단부의 지반붕락 등에 의하여 터널의 안정성에 지장을 줄 염려가 있다.

또한 콘크리트 라이닝의 일부에서 실시된 타음검사에서 박리가 발생한 부분도 있으며 상반과 하반의 콘크리트 타설이음부로 부터의 누수현상도 발견되었다(그림 6 참조).

#### 3.3 보수·보강공법

상부와 하부중간의 콘크리트 타설이음부로부터 40cm 위쪽에서 터널표면에 5° 각도로 트레일러에 탑재한 천공기를 사용하여 보링을 실시하고 스트레이너를 붙이고 VP-50, L=2.0m의 물빠기 수발파이프를 삽입하였다. 수발파이프로부터의 배수는 하반 단면의 콘크리트에 폭 70mm의 선도수공을 만들어 터널내의 측구로 배수하였다. 터널내부에 이러한 시

## 재래식 터널의 누수·고드름 방지 공법

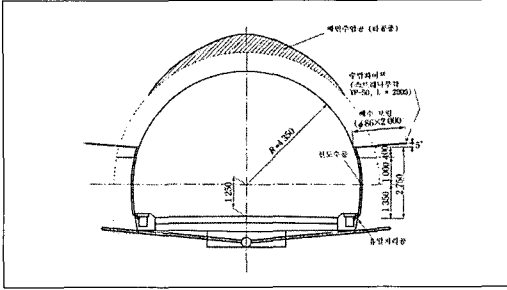


그림 7. 배수 보링 표준 단면도

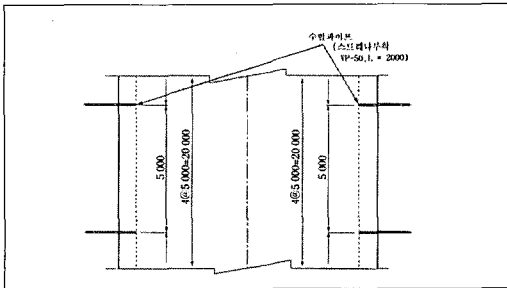


그림 8. 배수 보링 평면 배치도

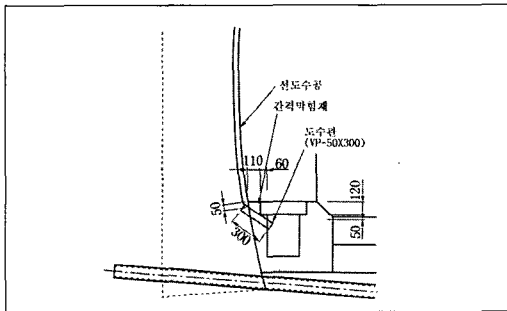


그림 9. 배수 단말 처리도

설을 10개 시공하였다. 본 방법은 지하수위 상승을 막아 터널 콘크리트 라이닝에 작용하는 수압을 저감시키는 역할을 한다.

수발파이프 설치를 위한 보링의 사양은 다음과 같다(그림 7~그림 9 참조).

가. 보링 직경 :  $\phi 66\text{mm}$

나. 보링 길이 :  $L=2.0\text{m}$ (콘크리트 라이닝 배면의

필터재가 삽입 불가능하기 때문에 콘크리트 라이닝 배면보다 지반에 스트레이너 관을 1.5m 삽입하기 위하여)

다. 스트레이너 관 : 경질염화비닐유공관  $\phi 60\text{mm}$  (외경) ( $L=2.0\text{m}$ )

라. 선도수공의 마무리 처리 : 선도수공 + 경질염화비닐관  $\phi 60\text{mm}$  (외경)

(수발공으로부터 측구까지의 도수는 복공표면으로부터 노출하면 동결기 기간에 동결할 우려가 있는 것과 측벽부의 면도수관의 시공에 지장이 되기 때문에 콘크리트 내면에 매립하는 방식으로 하였다.)

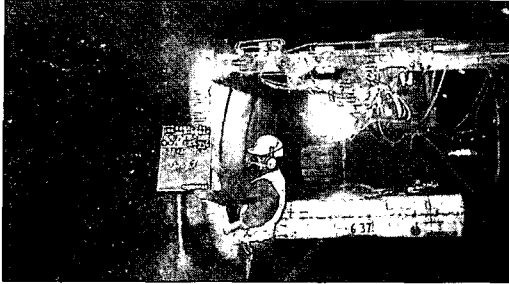
마. 보링 위치 : 지하수위를 고려하여 천공 가능한 위치에서 가능한 한 낮은 위치에서 천공하였으며 양측을 기본으로 한다.

바. 보링 간격 : 기본적인 간격으로서는 5.0m로 하였다.

### 3.4 유의점

배수보링은 시공기록으로부터 굴착당시부터 용수가 많았던 장소에서 수행하였다. 터널이 건설된 후 35년 이상 경과하였으며 당초 시공된 배수파이프에 막힘현상이 발생하여 지하수위가 상승하고 콘크리트 라이닝의 이음부로부터 누수가 발생된 것으로 판단된다. 지하수위의 상승은 콘크리트 라이닝에 외압으로 작용하여 콘크리트에 균열과 박리를 발생시키는 원인으로 작용한다. 이러한 현상에 대응하는 방법으로 지하수위저하공법을 채택하였으며 수발보링은 지하수위 저하를 위한 매우 유효한 처리공법이다.

이러한 보수보강 공법의 적용을 위해 시공계획단



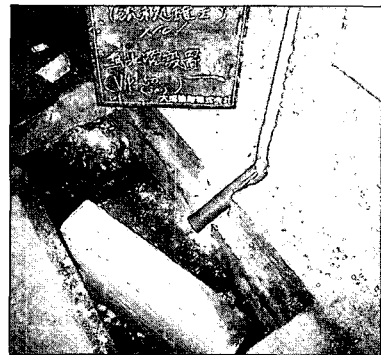
(a) 배수 보링 삭공



(b) 스트레이너 파이프 설치



(c) 도수 파이프 설치



(d) 선도수 파이프 단말 처리

사진 2. 시공 현황

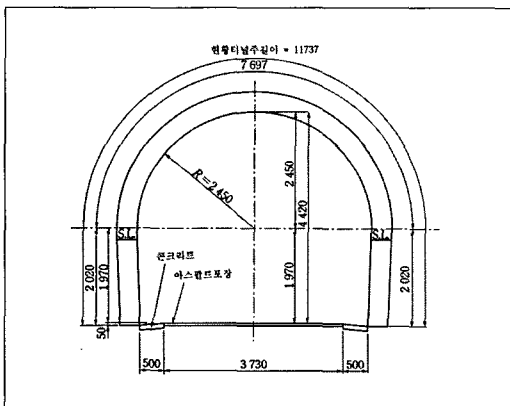


그림 10. 현황 단면도(단위 : mm)

계에서 배수보링의 위치, 깊이, 배수직경에 대하여 신중한 검토가 필요하다. 천공은 보링기계의 천공기

를 이용하는 것이 시트파일공법에서는 시공구간에서 시트파일이 지장을 주는 것을 고려하여 시공계획을 세울 필요가 있다.

배수 보링은 삽입한 배수관(스트레이너 파이프)이 시간의 경과에 따라 막힐 가능성이 높으므로 충분한 유지관리를 실시하는 것도 중요하다(사진 2 참조).

#### 4. 방수판을 이용한 고드름 방지공법

##### 4.1 터널 기본정보

가. 연 장 : 71.8m

## 재래식 터널의 누수·고드름 방지 공법

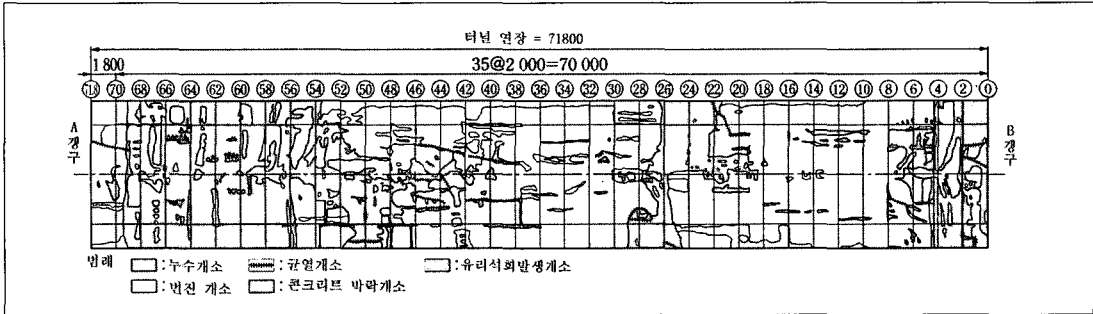


그림 11. 변상 전개도(단위 : mm)

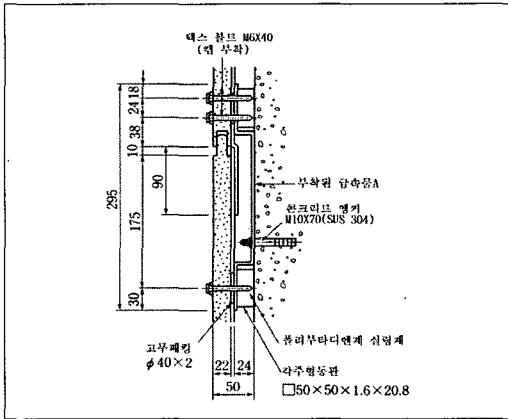


그림 12. 단열효과 있는 방수판의 단면(단위 : mm)

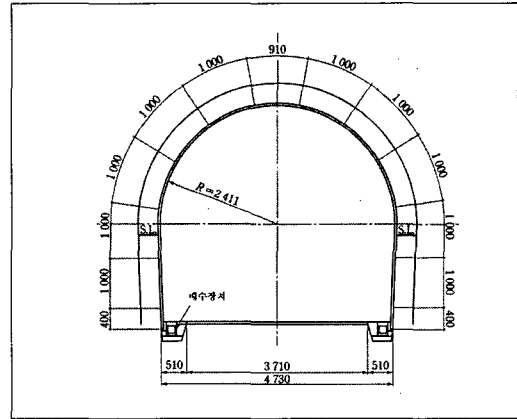


그림 13. 방수판 및 배수구의 설치 상황(단위 : mm)

나. 준공년월 : 1957년 3월

다. 단면형상 : 폭원 4.37m, 높이 4.42m

(그림 10 참조)

### 4.2 조사·변상

그림 11은 변상전개도를 나타내고 있다.

조사결과 다음과 같은 변상이 확인되었다.

① 누수현상이 터널내 상당히 많은 부분에서 발견되었다.

② 본 터널은 표고 약 1000m에 위치하고 있으므로 동절기에는 누수부의 물이 동결하여 터널표

면내에 고드름으로 존재하는 것 이외에 터널벽면에 발생하는 얼음때문에 터널 폭이 감소하는 폐해도 발생하고 있다.

③ 누수는 터널 천정부근에서 발생하는 것이 많고 누수가 발생하는 부위를 다음과 같이 크게 3개소의 범위로 구분할 수 있다.

A 갱구에서 0 ~ 8m

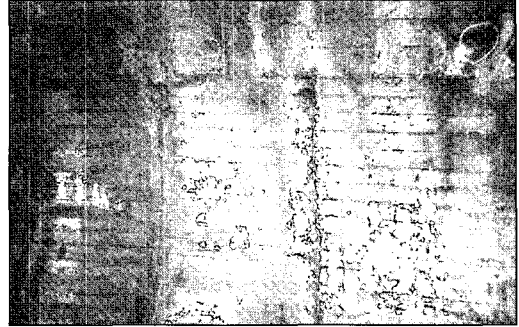
A 갱구에서 22 ~ 28m

A 갱구에서 42 ~ 70m

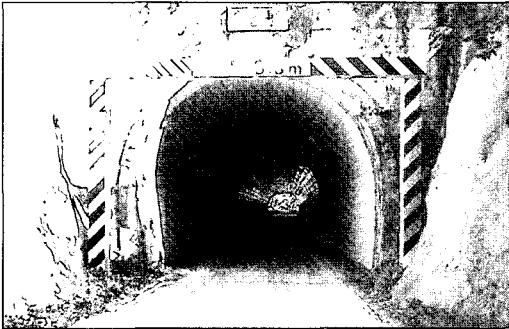
### 4.3 보수·보강공



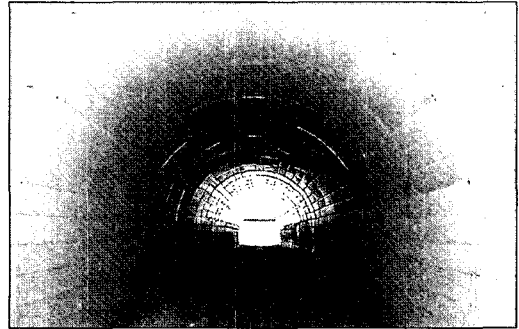
(a) 갱구부근의 콘크리트 라이닝 열화



(b) 갱내의 콘크리트 라이닝 열화



(c) 완성(갱구)



(b) 완성(갱내)

사진 3. 시공 현황

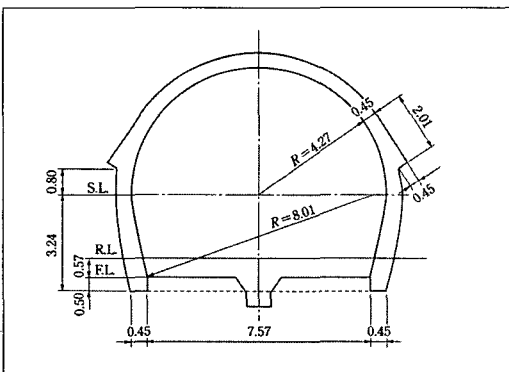


그림 14. 터널 단면(JR 북해도 제공자료)

① 누수가 시공이음부의 방향과 동일하게 직선적인 것은 없고 불규칙하게 발생하여 면상의 누수대책이 적당하다고 생각된다.

② 고드름 대책을 고려하여 단열효과가 있는 방수판을 채용한다.

③ 병행하여 배수로 확보를 위하여 U자형 배수구를 신설 설치하였다.

단열효과가 있는 방수판의 단면은 그림 12에 나타나 있고, 방수판의 설치 및 배수장치의 설치는 그림 13에 나타나 있다(사진 3 참조)

4.4 유의점

- 본 터널에 적용된 보수/보강공법은 내공단면에 여유가 있는 경우에 적용한다.
- 내공단면이 그다지 여유가 없는 경우에는 대형차



## 재래식 터널의 누수·고드름 방지 공법

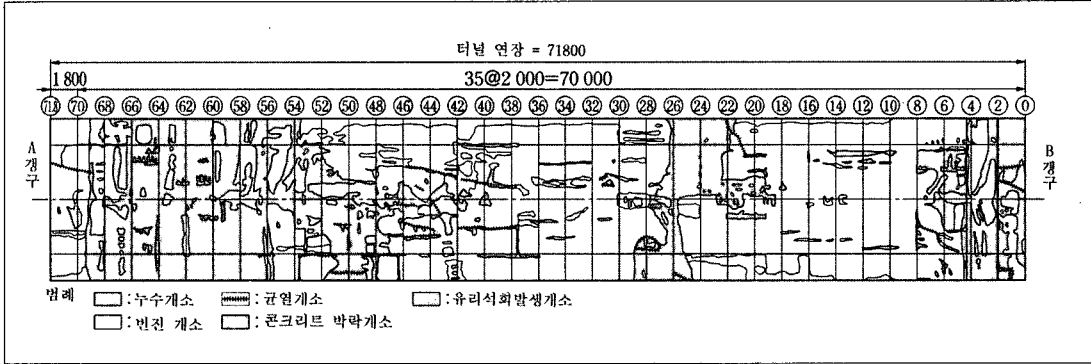


그림 15. 터널 종단도 (JR 북해도 제공자료)

등에 의해 도수판이 파손되지 않도록 하기 위하여 갱구에 진입차량의 높이 제한 등을 설치하도록 한다.

## 5. 단열판을 이용한 고드름 방지공법

### 5.1 터널 기본 정보

- 가. 연장: L = 4523m
- 나. 준공년월: 1969년 6월
- 다. 단면형상: 복선교류전화(그림 14 참조)
- 라. 지질: 사문암, 흑색편암 등(그림 15 참조)
- 마. 기타
  - 굴착공법: 측벽도강 선진상부반단면공법(사이롯트 공법)
  - 구조: 철근콘크리트 또는 콘크리트 구조물, 두께는 40~90cm, 인버트가 일부 있으며 비라스트(Ballast)궤도 건설 중에 변상이 발생하여 보수보강을 위해 보강지보공 및 보강콘크리트가 실시되어 있다.

### 5.2 조사·변상

#### 가. 변상현상

본 터널은 점토 혹은 엽편의 사문암과 파쇄질 흑색편암의 지반에 건설된 터널로서 이러한 팽창성 광물에 의한 소성압에 의하여 터널내 도로변상과 균열이 많이 발생되어 있다. 또한 본 터널은 추운 지방에 위치해 있으며 균열로부터의 누수가 동결하여 고드름, 터널 측면에 발생한 얼음 및 터널바닥에 발행한

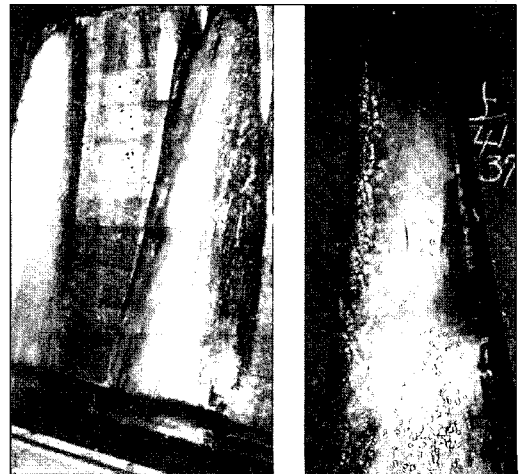


사진 4. 누수의 동결상황

얼음의 발생에 의하여 터널폭원의 감소와 고드름의 낙하 등 열차운행에 영향을 주는 경우가 있다(사진 4 참조)

### 5.3 보수·보강공법

표면단열판넬공법은 콘크리트 라이닝 표면에 단열재를 설치하는 공법이며 한랭지에 있는 철도터널의 동해 대책공법으로서 가장 일반적인 공법이다. 누수 및 동결현상이 면상 혹은 선상으로 발생하고 있는 경우에 터널내 공동단면에 단열재를 설치할 여유공간이 있는 경우에 적용가능하다.

터널내에서 발생한 누수는 동절기 기간동안 콘크

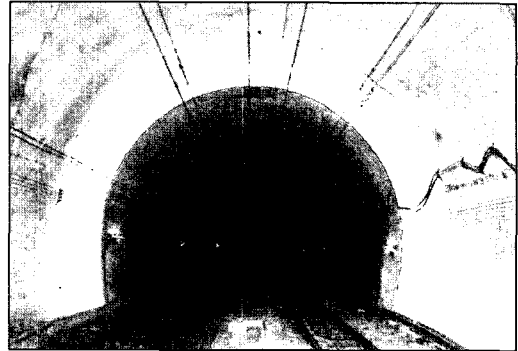


사진 5. 터널 단열공(표면단열판넬)

리트 라이닝표면에 결빙되어 진다. 터널단열공법은 단열재의 배면에 방수판을 부착한 단열방수판을 터널 콘크리트 라이닝 표면에 설치하고, 설치한 단열

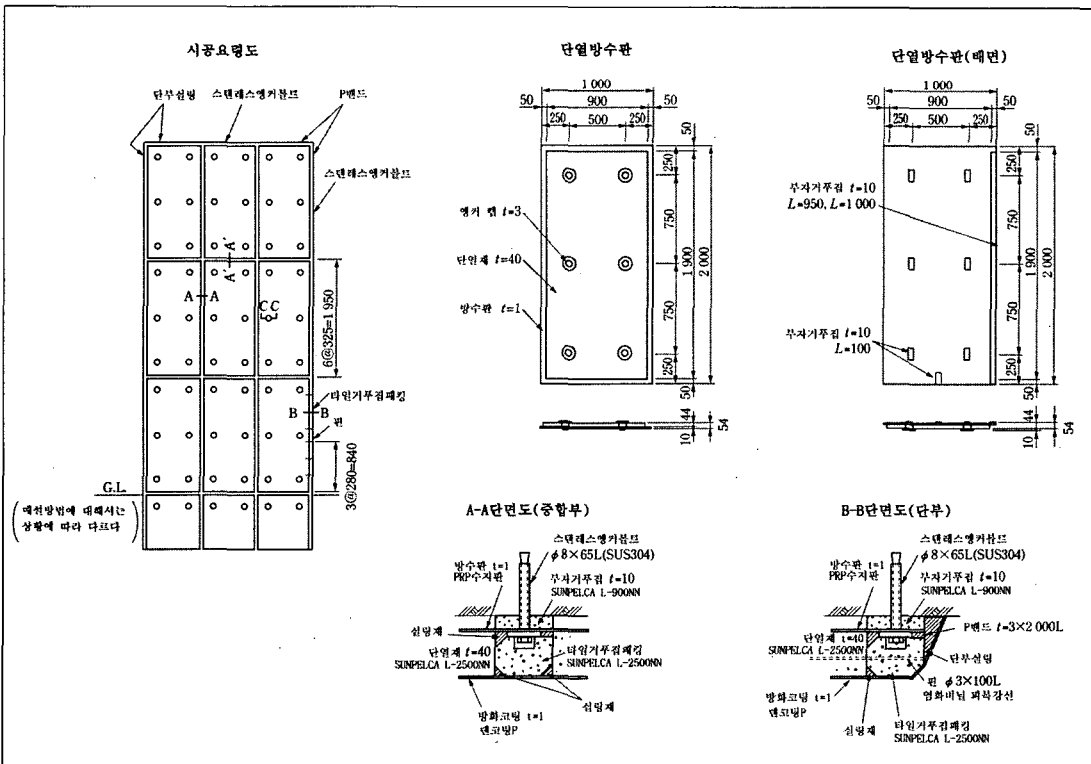


그림 16. 단열공(표준단열판넬) 표준

## 재래식 터널의 누수·고드름 방지 공법

방수판의 내면으로 흐르는 누수를 동결하지 않도록 유도배수구 끝부분까지 인도하여 고드름 및 결빙을 방지하는 공법이다. 단열재는 터널내의 빙점 이하의 차가운 기온을 차단하고 터널 콘크리트 라이닝 배면에 있는 지반의 열을 터널내로 나오지 못하게 하는 역할을 하여 콘크리트 라이닝 배면온도를 빙점이상으로 유지하고 동해를 방지한다(사진 5, 그림 16참조).

터널누수방지공법의 주된 특징은 다음과 같은 것이다.

- ① 열전도율이 작고 단열성이 우수하다.
- ② 흡수성이 작고 내수성이 우수하다.
- ③ 내후성·내약품성이 우수하다.
- ④ 현장에서의 가공이 용이하고 시공성이 좋다.
- ⑤ 화재에 대한 안정성을 고려하여 재료는 난연성의 것을 사용하고 단열재표면에 방화코팅을 실시한 것이다.

- ⑥ 열차통과시의 풍압에 의하여 벗겨지는 것을 방지하기 위하여 단열방수판을 앵커볼트를 사용하여 콘크리트 라이닝에 정착시킨다.

## 6. 맺음말

본 기사에서는 일본의 30년 이상 노후된 4개의 터널에서 지하수 누수 및 고드름 방지를 위한 보수보강한 사례를 살펴보았다. 국내에서도 노후화된 터널의 안전관리 및 유지관리에 대한 관심이 점차 증폭되고 있지만 체계적인 보수보강공법이 정립되어 있지 않고, 보수보강후 성능향상을 판단할 수 있는 체계가 매우 미흡하다. 그러므로 이러한 사례들을 바탕으로 국내 터널의 유지보수를 위한 체계적인 시스템개발이 이루어져야 할 것이다.

**ISOPE-2007**  
  
**Lisbon**

**The 17th International Offshore and Polar  
 Engineering Conference & Exhibition**  
 Lisbon, Portugal, July 1-6, 2007

*Plan to Attend ISOPE-2007 Lisbon, the city of 1998 World Expo on Ocean.*

Since ISOPE-1992, the annual ISOPE conferences have been the world's largest technical conferences of its kind with refereed papers. The ISOPE-2005 Seoul broke the all-time record-breaking attendance. Following the successful organization of ISOPE- 2002 Kitakyushu, 2003 Honolulu, 2004 Toulon, 2005 Seoul and 2006 San Francisco Conferences, the ISOPE-2007 is being organized by Technical Program Committee (TPC) of the International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE) with 24 cooperating organizations and societies (a partial list on the back). Its objective is to provide a timely international forum for researchers and engineers.

**ISOPE**  


**Call For Papers**

Update at  
[www.isopec.org](http://www.isopec.org)

DEADLINES	Abstract Submission	October 1, 2006
	Manuscript for Review	January 3, 2007
	Final Manuscript due	March 24, 2007

Prospective authors are invited to submit (E-mail [meetings@isopec.org](mailto:meetings@isopec.org) or Fax 1-650-254-2038) your abstract in 300-400 words to: (1) **One of TPC members** (session organizers, see backside); (2) **Online abstract submission on [www.isopec.org](http://www.isopec.org)**; or (3) **ISOPE-2007 TPC, P.O. Box 189, Cupertino, California 95015-0189, USA** observing the above key dates. Abstract should emphasize the significance of the results and/or the originality. Abstract must include the paper title, all authors' and co-authors' names, affiliations, full addresses, and telephone and fax numbers and E-mail address of the corresponding author.