

# 일본 철도지하화공사 현장견학을 마치고 - 기존철도 직하부에서의 터널시공 -

김영근\*, 박준경\*\*

지난 1월 일본의 선진토목기술을 직접 보고 경험하기 위하여 일본기술연수의 기회를 갖게 되었다. 본 연수는 지하도로, 지하철도 실제 현장과 기존의 다양한 토목구조물들을 직접 보면서 공부할 수 있도록 실시되었는데, 이 중 터널기술자로서 기술적으로 관심 사항이 많고 다른 기술자들에게도 도움이 될 만한 현장 하나를 소개하고자 한다.

본 현장은 기존철도를 개선하기 위하여 현재 운행되고 있는 철도 직하부에 터널로 철도를 만드는 프로젝트로서 공사 중에 과연 기존철도의 안정성을 어떻게 확보하느냐가 최대의 관건이라고 할 수 있는데, 다양한 형태의 터널단면을 NATM 공법을 중심으로 시공하는 과정을 보면서 눈여겨 볼만한 기술적 사항에 대하여 지반기술자들이 한번쯤 고민할 수 있는 시간을 만들어보고자 공사현황 및 특징을 간단하게 정리하였다.

## 1. 공사개요

일본 도큐도요코선은 도쿄와 요코하마를 연결하는 하루평균 약 백만명의 승객을 갖는 중요한 간선철도이다. 도요코선의 지하철도사업은 요코하마역에서 미나토-미라이 21선과 직접연결하기 위하여 2km 길이의 기존철도를 지하로 바꾸는 것으로, 공사가 완료되면 새로운 철도망이 만들어져 교통의 효율성과 요코하마시의 중심과 미나토-미라이 21구역을 오고가

는 승객들의 편의성을 증진시킬 수 있을 것이다.

본 공사에 적용된 터널공법은 NATM 공법인데, 본 공법은 각종 보조공법과 계측기술의 발달로 인하여 산악터널 뿐만 아니라 도심지 구간에도 적용되고 있다.

지금까지 기존철도 직하부에 터널을 굴착하는데 본 공법을 적용한 사례는 없었다. 계획단계에서부터 지질조사자료를 기초로 하여 운행중인 열차의 안전성을 어떻게 확보할 수 있는가가 중요한 문제라고 할 수 있다.

현재 이 현장은 지반조건에 따른 다양한 보조공법을 적용하므로써, 터널굴착에 의한 지표면의 영향을 최소화하며, 매일 운행중인 도요코선 열차의 안전을 유지하기 위하여 매우 주의 깊게 시공되고 있는 중이다.

## 2. 설계 및 시공

### 1) 지질 및 지반

터널구간의 지질은 그림 1에서 보는 바와 같이 양질의 세사층과 역학적으로 안정한 고결 실트층 및 이의 호층으로 구성되어 있다. 또한 터널 굴착상부는 층후 5~8m의 고결 실트층이 수평방향으로 연속적으로 퇴적하여 터널 상부지반을 형성하고 있다. 사층부는 지하수가 모여있는 대수층이 형성되어 있어, 터널굴착시의 막장 안정이 문제가 될 수 있으므로 적절한 대책공법을 적용해야만 한다.

### 2) 설계 및 시공

터널단면은 그림 2에서 보는 바와 같이 복선터널

\*1 정회원, (주)삼보기술단 이사

\*\* 정회원, (주)삼보기술단 대리

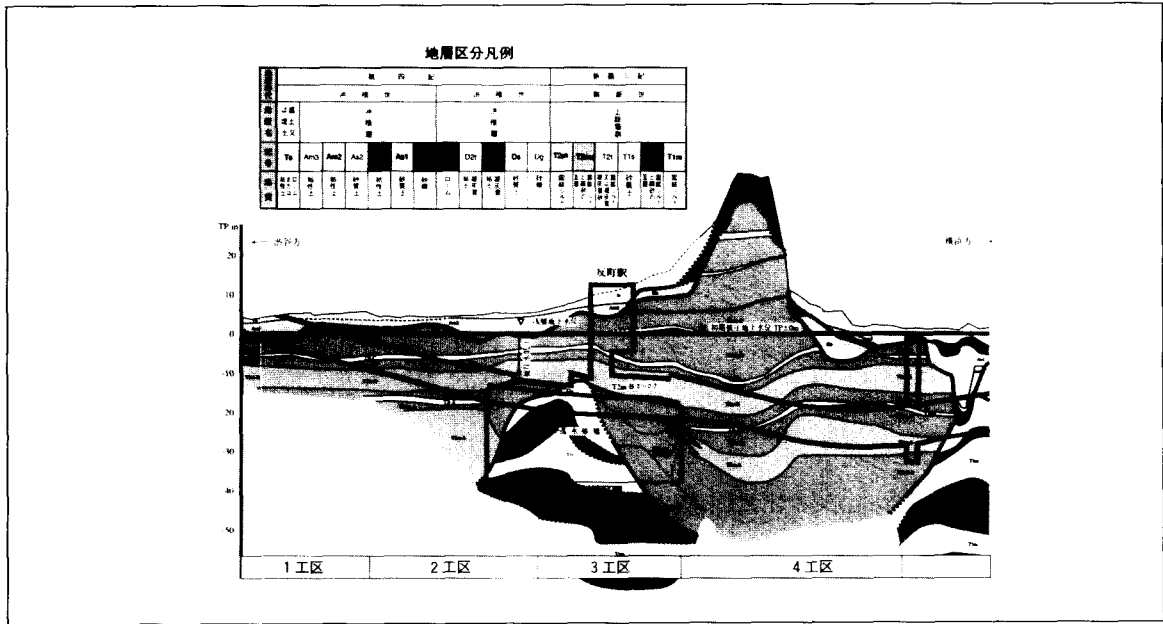


그림 1. 지질종단면도

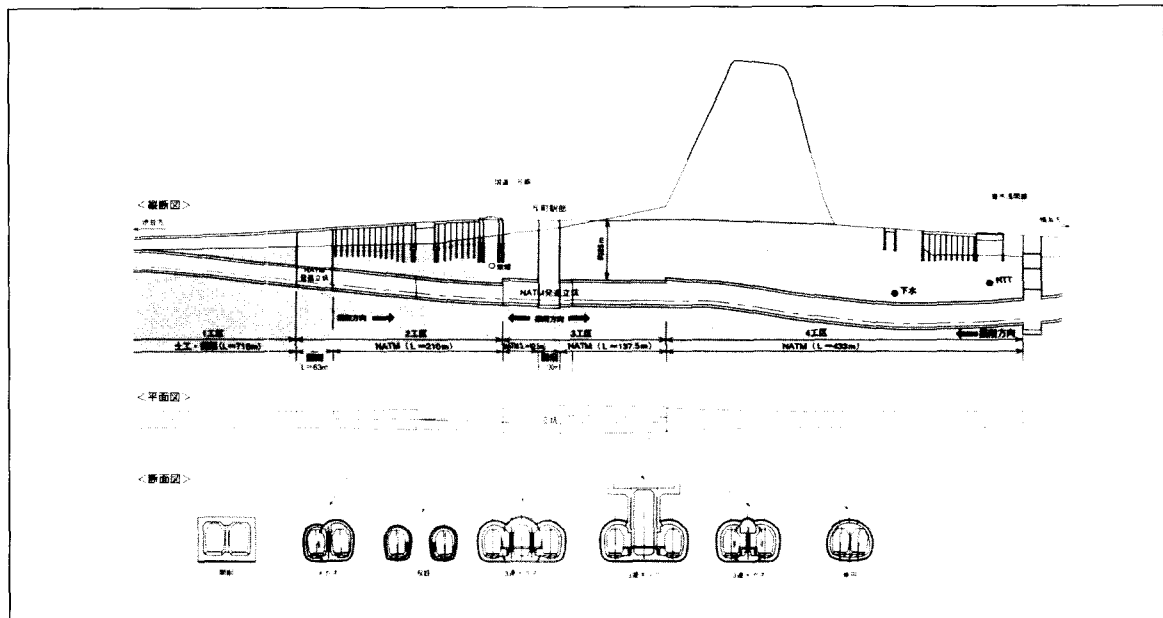


그림 2. 터널 종단면도 및 단면형상

단면, 단선병렬 터널단면, 안경형 터널단면 및 버섯형 터널단면 등 다양한 종류의 단면으로 구성되어 있

다. 설계단계에서부터 상부에 위치한 기존철도에 미치는 영향을 고려하여 한번에 굴착되는 단면을 최소



사진 1. 개착구간

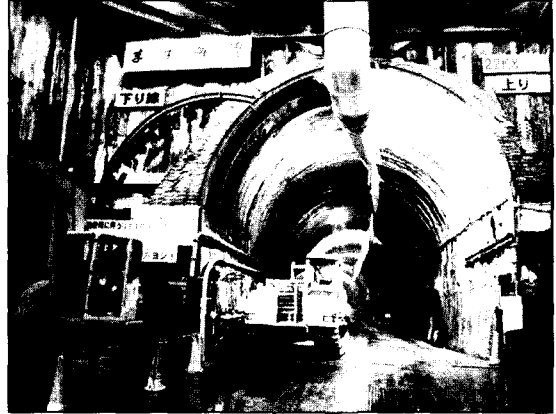


사진 2. 안경형 터널

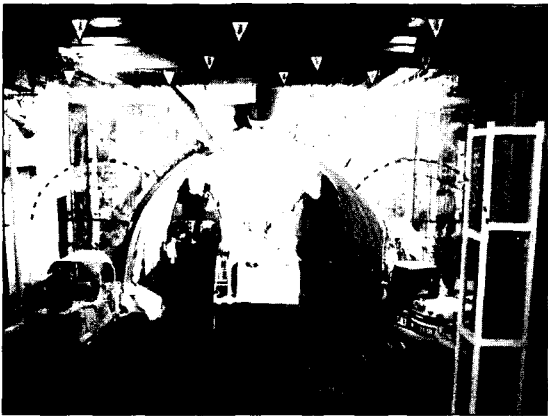


사진 3. 3연 안경형 터널



사진 4. 복선터널

화하여 지반변형에 단계적으로 대처할 수 있도록 하였는데, 이는 비교적 자유롭게 단면형상을 변화시킬 수 있는 NATM 공법의 특징이기도 하다.

사진 1은 개착구간에서의 임시거더에 의해 기존철로를 지지하고 있는 모습이며, 사진 2는 안경형 터널로서 비대칭으로 시공되는 장면이다. 사진 3은 3연 안경형 터널로서 먼저 중앙터널이 시공된 모습이다. 사진 4는 시공중인 복선터널의 모습이다.

### 3) 수직구

터널링을 위한 수직구는 철도노선 직하부에 만들어 졌다. 수직구의 시공은 기존철도 직하부에 개착공

법으로 터널을 시공하는 방법과 동일하며, 우선 임시 거더에 의해 기존철로를 지지하였다. 이런 후에 사진 5에서 보는 바와 같은 강제벽체(in-situ diaphragm steel wall)를 시공하였다.

### 4) 보조공법

본 공사에서 가장 중요한 것은 철도운영과 주변 구조물에 대하여 침하 등과 같은 유해한 영향 없이 시공을 수행하는 것이다. 이를 위해서는 지질 및 지하수 조건에 따른 문제에 신속하게 대처하는 것이 중요하다 할 수 있다. 지표에 가옥, 빌딩, 교통수단 등이 밀집해 있는 도심지 지역에서 터널을 시공하는 경우,

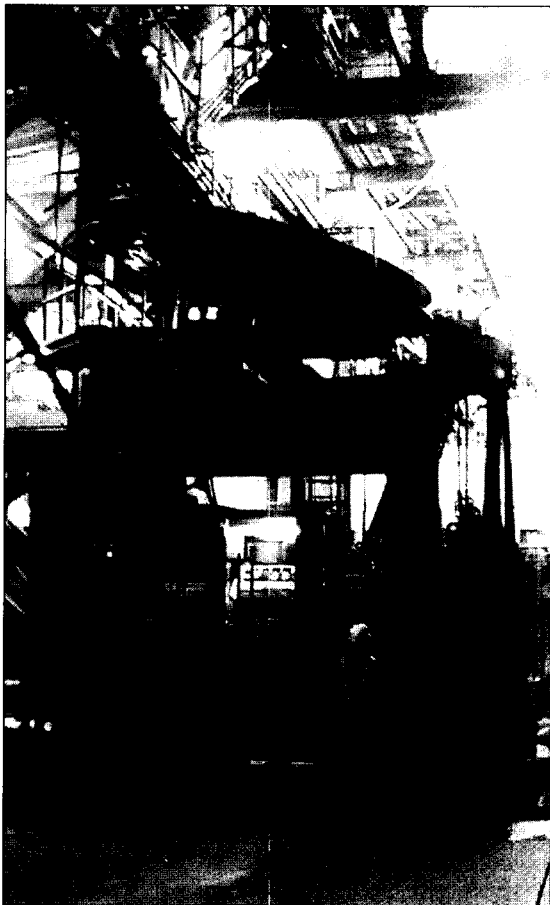


사진 5. 강제지중연속벽시공

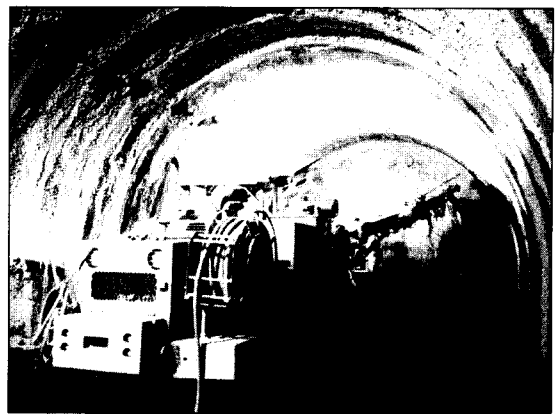


사진 6. 포아폴링 시공장면

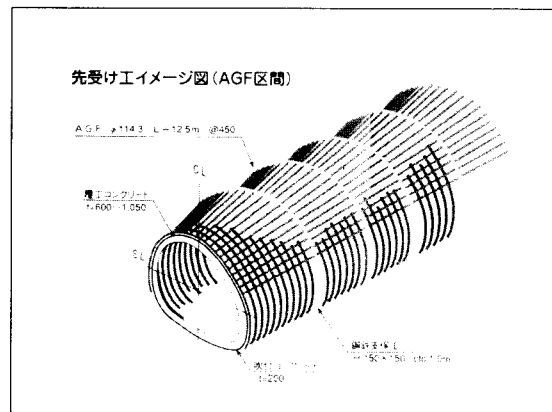


그림 3. 대구경 강관다단그라우팅

표 1. 터널굴착을 위한 주요 보조공법

대책항목	대책공법	적용구간
지하수	수발 보오링	2공구, 4공구
	Deep Well	2공구, 4공구
천단안정	대구경강관그라우팅, 포아폴링	전공구
막장안정	막장 S/C, 막장 R/B	전공구
각부지지력 확보	상반가폐합	사출이 현저한 구간
지반보강	약액주입, 긴결볼트	병설터널구간
갱구안정	치환공법	터널시점부
	파이프루프	터널시점부, 3, 4공구
특수부	니수고화 약액주입	기반암 상부시공구간
중앙갱 보강	축부볼트	3연 안경형/3연 버섯형 구간

굴착시의 지반 변위를 각종 보조공법을 적용하여 억제하는 조치가 필요하며, 이러한 주요 보조공법의 적

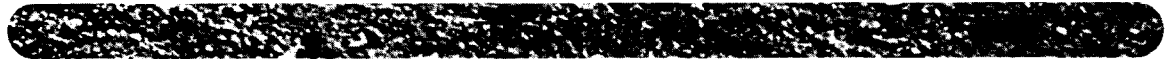


사진 7. 터널 갱구부 시공장면

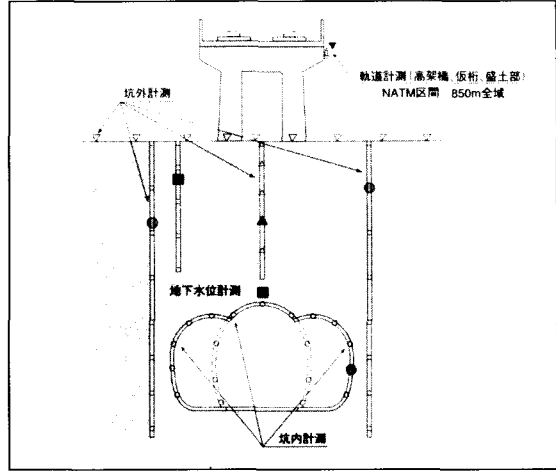


그림 4. 계측도

표 2. 주요 계측항목 및 목적

계측항목		계측목적
갱내계측	숏크리트 응력측정	· 터널구조에 작용하는 하중상태 확인
	강지보공 응력측정	· 지보규모의 적정성 확인
	필라 응력측정	· 인경형 터널구조의 안전성 확인
	대구경 강관	· 보조공의 효과(막장안정성, 침하)의 확인 · 지보규모의 적정성 확인
갱외계측	터널직하 침하측정	· 굴착에 의한 선행 변위량의 확인
	지표면 침하측정	· 굴착에 의한 주변가옥, 매설관의 영향확인
	지중 침하측정	· 굴착에 의한 인접구조물, 매설관의 영향확인
	지중축방 변위측정	· 굴착에 의한 인접구조물, 매설관의 영향확인
	구조물 침하측정	· 지상 중요구조물의 침하감시
궤도계측	구조물 경사측정	· 지상 중요구조물의 경사·부등침하의 감시
	궤도 침하측정	· 궤도의 영향파악
	고가교·교대침하측정	· 궤도의 영향파악
지하수위 계측	교대경사측정	· 궤도의 영향파악
	층적층지하수위측정	· Deep Well에 의한 층적층의 영향파악

용은 표 1과 같다. 사진 6은 천단부 포아폴링 시공장면이고, 그림 3은  $\phi 114$ 의 대구경 강관그라우팅 개념도이고, 사진 7은 갱구부 시공장면을 보여주고 있다.

### 5) 계측

시공의 안정성을 확인하고, 지표 및 주변건물의 영향을 파악하기 위하여 다양한 종류의 계측관리가 수

표 3. 궤도에 대한 계측

항목	위치	수량
침하	궤도구조물	36
	임시 지지파일	38
	노반	38
경사	교대	8

행되었다. 계측은 그림 4에서 보는 바와 같이 터널계측(내부와 외부)과 기존궤도계측으로 구분하여 실시

표 4. 터널구간 계측

항목	계측기기	수량
지반거동	수평보오링선에서의 경사계	21
	지하수위계	26
	지중경사계	67
	지중변위계	67
	지표침하계	110
터널거동	콘크리트 응력계	127
	포아폴링의 경사계	39
	파이프루프 강관의 경사계	13
	강지보의 변형율계이지	127
	강제컬럼의 변형율계이지	30
	토압계	2
	내공변위계	165

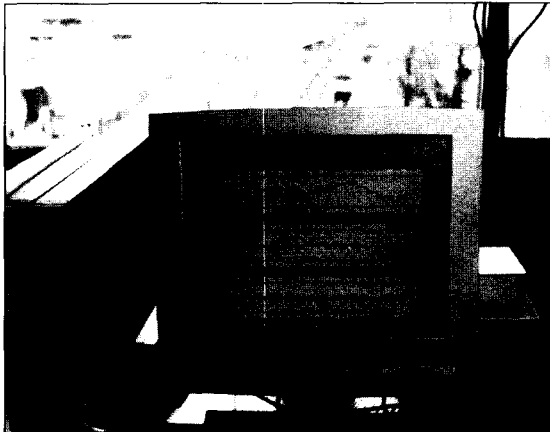


사진 8. 계측관리시스템



사진 9. 궤도에 설치된 계측기

하였으며 계측항목과 목적 그리고 계측수량은 표 2, 표 3, 표 4에 나타나 있다. 이러한 계측데이터는 사진 8에서 보는 바와 같이 집중관리실에서 종합적으로 관리되어 안전하고 합리적인 시공이 되도록 하였다. 또한 기존궤도 계측에서 이상한 결과를 관찰하는 경우, 즉 표준레벨을 넘어서는 경우 즉각적으로 궤도 보수부문 등 관계 부서에 연락하여 직접적인 대책을 강구하는 안전관리체제를 갖추고 있다.

### 3. 현장견학을 마치고

기존 전철역 근처에 위치한 현장사무실은 협소한 관계로 철로옆 건물에서 상부는 철로위 공간을 활용하여 만들어져 열차의 운행상태를 확인할 수 있는 것이 특징적이었다. 또한 기존철도 직하부를 통과하는 특수한 현장인 관계로 현장에서의 안내가 체계적으로 진행되었는데, 파워포인트를 이용한 발표자료, 홍보비디오 상영, 그룹방문객을 위한 이어폰시스템 등이 인상적이었다. 특히 따뜻한 물수건과 오차는 견학 전후에 제공되어 방문객들에게 최대한 배려하는 모습이 돋보였다.

현장사무실에서 전체적인 공사개요와 공사특징에 대한 브리핑을 보고 받은 후 궁금한 사항을 물어볼 수 있었고, 현장안내를 실무자가 담당하여 공사진행 과정의 기술적 애로사항을 직접 청취할 수 있었다.

현재 이 현장은 대부분의 굴착공사와 라이닝공사가 완료된 상태로 철도시설을 준비중에 있었다. 앞에서 설명한 바와 같이 짧은 구간에 여러 가지 터널단면으로 설계되어, 이를 NATM공법으로 계측관리를 통하여 안전하게 수행하고 있음을 보고 놀라지 않을 수 없었다.

본 현장은 다양한 터널단면의 총집합체로서, 사진 10에서와 같은 비대칭 안경형 터널과 사진 11과 사진 12에서 보는 같이 두꺼운 중앙필라를 둔 단선병렬터널, 사진 13에서와 같이 정거장구간에 중앙부를 기둥으로 처리한 3연 안경형 터널, 사진 14에서와 같은 정거장 접속부 구간에서 중앙필라를 4각기둥으



사진 10. 비대칭 안경형 터널

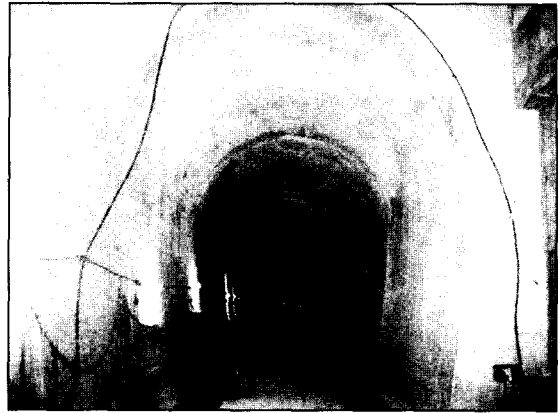


사진 11. 단선 병렬터널



사진 12. 단선병렬터널 중앙필라부



사진 13. 3연 안경형 터널

로 처리한 대칭 안경형 터널, 끝으로 사진 15의 복선 터널로 일정구간을 변단면처리 하여 사진에서 보는 바와 같이 일정한 단차가 라이닝 스펀마다 발생하고 있음을 볼 수 있었다.

또한 국내의 경우 2Arch 터널의 접속부 누수문제가 심각하게 부각되고 있는데, 역시 마찬가지로 일본의 경우도 사진 16에서 보는 것처럼 접속부의 누수가 발생하고 있음을 볼 수 있다. 또한 이 부분을 사진 17에서와 같이 누수부를 유도호스와 주입공법을 이용하여 간단히 보수하는 것으로 마감되었으며, 추가적인 대책은 별도로 없다는 설명을 들었다.

재미있는 것은 지하화된 신설노선이 완료되면 기

존노선을 중단하고 신설노선에 열차를 운행하게 되는데, 교체에 걸리는 시간이 한밤중 열차운행이 중단되고 새벽에 다시 재개되는 동안에 모든 교체작업이 이루어지도록 계획하고 있다는 것이다.

이번 현장방문을 하면서 가장 중요하게 느낀 것은 이제 우리도 도심지를 통과하는 구간을 장기적으로는 지하화가 필요하며, 이를 위해서는 도심지 천부터널에 대한 기술적 노하우를 정비하고 지하화에 대한 구체적인 세부계획을 수립하여야 한다는 것이다. 특히 철도시설은 소음·진동으로 인하여 주민들의 민원이나 불만이 끊임없이 제기되고 있으므로 이에 대한 대책이 요구되며, 또한 지하화로 인한 기존철도의

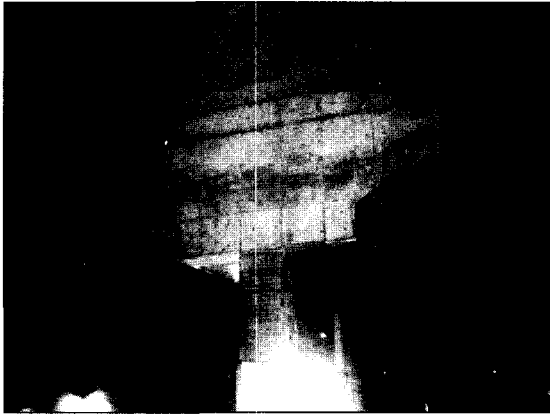


사진 14. 대칭 안경형 터널

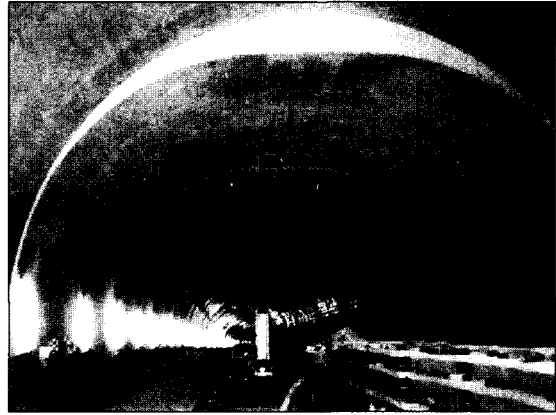


사진 15. 복선 터널

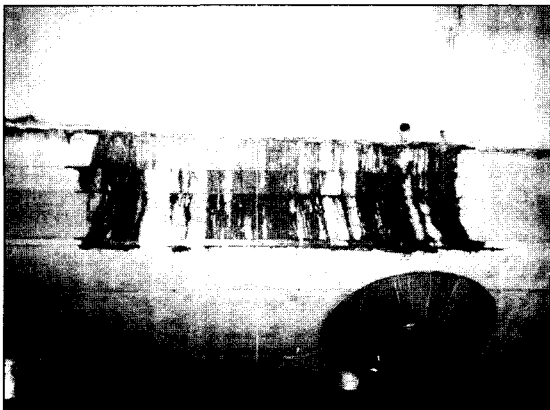


사진 16. 중앙 접속부 누수 현상



사진 17. 중앙 접속부 누수처리

지상공간은 주민을 위한 삶의 공간, 휴식공간으로 활용될 수 있도록 해야 할 것이다.

일본의 토목기술은 선진화되었고, 세계 최대, 최고를 향해 지속적인 기술개발을 위해 노력하는 모습을 보면서 참으로 대단하다는 생각이 앞선다. 우리도 배울 것은 배우고 받아들여 선진터널기술의 강국이 되

는 그때까지 노력을 더해야 할 것이다.

이 글을 통해 소중한 기회를 제공하여 주신 삼보기술단 이두화 사장님에게 진심으로 감사 드리는 바이며, 연수기간내내 통역을 맡아준 조재현 박사와 현장을 정성스럽게 소개해주고 안내해준 현장관계자 여러분에서 고맙다는 말씀을 전하고 싶다.