

열화된 노후터널 보수·보강 사례¹⁾

김 동 규^{*2}, 정 호 섭^{*3}

1. 시작하며

서울지하철 3/4호선에서 처음 적용된 NATM이 국내에 소개되기 이전에는 모든 국내 터널구조물이 시멘트 콘크리트 라이닝을 주시보재로 건설되었다. 시멘트 콘크리트는 일반적인 자연 환경하에서는 반영구적인 내구성을 가지고 있는 재료로 알려져 왔으나, 내·외부의 열악한 환경요인에 오랜 기간 노출되면 시간이 경과함에 따라 필수적으로 노후화가 발생한다. 도로, 철도 및 지하철의 경우, 터널구조물이 노후화되면서 유지관리에 어려움이 많은 발생하고, 구조물의 특수성으로 인하여 점검자의 기술력, 점검 시기 및 적절한 보수보강시점이 중요하다. 국내의 경우도 터널의 노후화로 인하여 보수 보강의 문제가 대두되기 시작하였으며 이에 대한 적절한 대책공법의 마련이 필요한 시기가 도래된 것으로 생각된다.

본 고에서는 최근 국내에서도 연구가 진행되고 있는 공용중인 재래식터널(콘크리트 라이닝이 주시보재)의 보수보강 공법 개발에 도움이 되고자 일본의 보수보강사례를 소개하고자 한다. 사례로써 준공된 후 50년 이상 공용중인 2개소의 터널을 대상으로 라이닝 열화 현상에 대한 보수, 보강한 사례에 대하여 살펴보기로 한다.

2. 터널 내장판 교환공법

2.1 터널 기본정보

- 가. 연 장: 2,376m
- 나. 준공년월: 1966년 3월
- 다. 단면형상: 그림 1 참조

2.2 변상 상태 조사

터널의 상태평가 조사결과의 개요를 그림 2에 나

*1 원저자 및 출처: 猪熊明, 현장 기술자를 위한 터널 유지관리 실태, 산해당, 2004

*2 한국건설기술연구원, 지반연구부, 선임연구원 (dgkim2004@kict.re.kr)

*3 한국건설기술연구원, 지반연구부, 선임연구원 (hsnsj97@kict.re.kr)

열화된 노후터널 보수·보강 사례

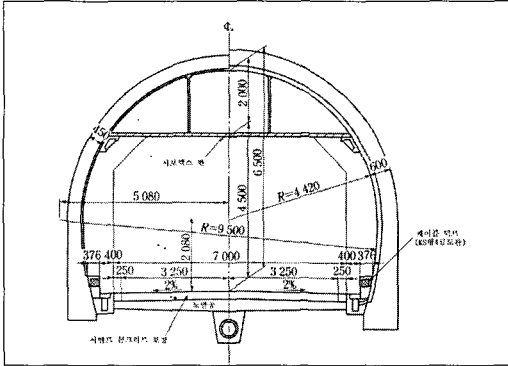


그림 1. 표준단면도

타내었다. 2,376m의 터널 전구간의 판정은 3A구간 (즉시 대책을 실시: 30m), 2A구간(조급히 대책을 실시: 669m), A구간(중점적으로 감시하여, 계획적으로 대책을 실시: 655m), B구간(감시를 한다: 1,022m)으로 분류되었으며, 터널내의 전체 콘크리트 라이닝의 약 30%가 시급하게 보수/보강을 필요

로 하는 상태(2A등급 이상)이었다(표 1 참조).

또한, 변상의 진행가능성이 있는 상태 (A등급 이상)는 터널중앙부로부터 터널 종점부측으로 갈수록 비율이 높았고, 터널 전체로 변상 및 열화가 진행될 가능성이 높았다. 기존 내장판은 최초시행(1988년)에서부터 11년이 경과하여 전체적으로 열화가 진행되어 터널 전노선에 걸쳐서 철거·신설하였다.

2.3 보수·보강공법

기존의 내장판을 철거하고 타일 판별에 의한 신설 내장판을 터널 전체 노선에 걸쳐서 설치하였다. 기존의 내장판은 터널 바닥으로부터 설치높이가 2,800mm이었지만 신설 내장판은 3,068mm로 기존 내장판보다 높게 설치하였다. 터널내 설치된 소화전, TV 카메라 및 소화기부분은 신설 내장판을 가

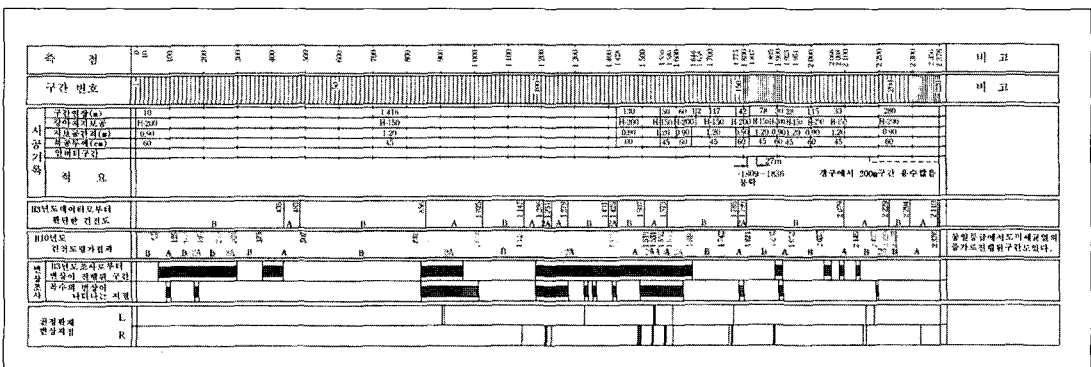


그림 2. 조사결과 개요도

표 1. 표준조사 AB, 상세조사시의 판정구분(일, 국토교통성)

판정구분	판정의 내용
3A	변상이 크고 통행자·통행차량에 대한 위험이 있기 때문에 곧바로 어떠한 대책을 필요로 하는 것
2A	변상이 있으며 그것이 진행하여 언젠가는 통행자·통행차량에 대하여 위험을 주기 때문에 조급히 대책을 필요로 하는 것.
A	변상이 있으며, 장래, 통행자·통행차량에 대한 위험을 주기 때문에 중점적으로 감시를 하고 계획적으로 대책을 필요로 하는 것.
B	변상이 없지만 있어도 경미한 변상으로 현재 상황에서는 통행자·통행차량에 대하여 영향을 주지 않지만 감시를 필요로 하는 것.

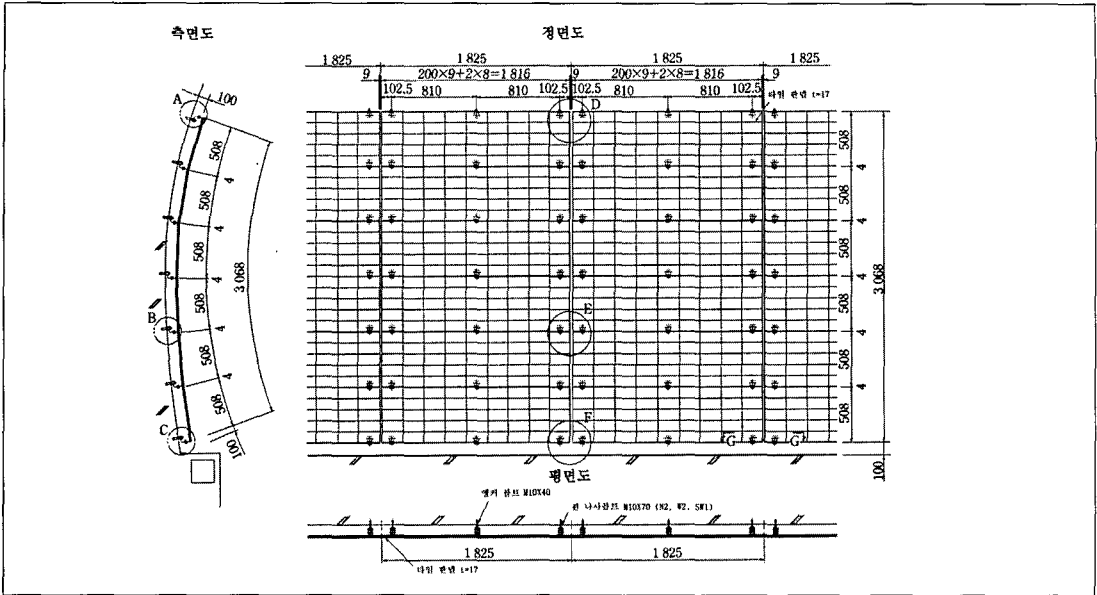


그림 3. 내장판 설치 상세도

공하여 설치하였다. 또한 가공이 가장 어려운 부분은 선회장소의 역R이었다. 내장판설치 상세도를 그림 3에 나타내었다.

보수/보강을 위한 주요 공사개요는 다음과 같다.

- 내장판 철거공법: 연장 2,376m : 면적 13,468m²
- 내장판 설치공법: 연장 2,376m : 면적 14,576m²

보수/보강을 위한 시공방법으로서는 터널내 차선을 완전히 통제한 후 자주식 유압작업 가설대가 장착된 4톤 차량을 이용하였다. 구체적인 시공순서도는 그림 4에 나타내었다(사진 1 참조).

2.4 유의점

기존 내장판 철거시 판넬 및 판넬 고정장치에 부착되어 있는 배기가스의 매연 때문에 분진이 매우 많이 발생할 수 있는 매우 열악한 작업 환경이 될 것으로 예상되었다. 그래서, 방진마스크, 온수에 의한

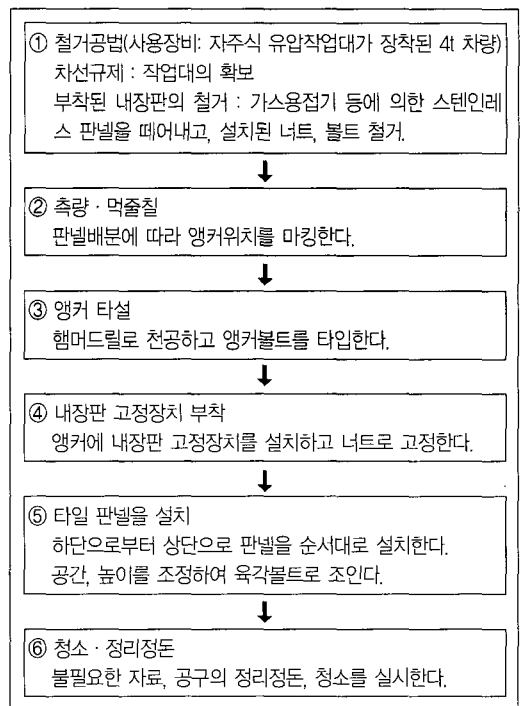
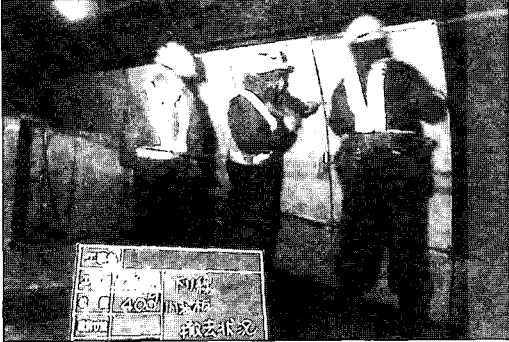
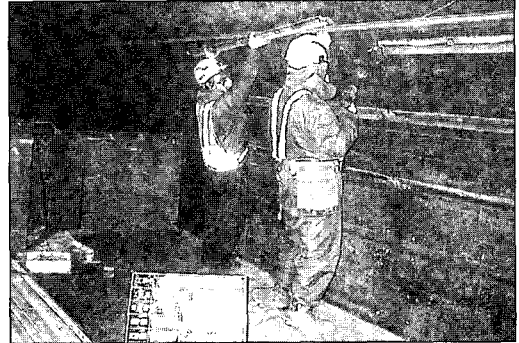


그림 4. 표준단면도

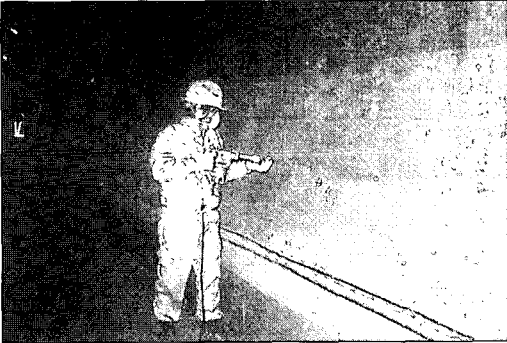
열화된 노후터널 보수·보강 사례



(a) 기존 내장판 철거



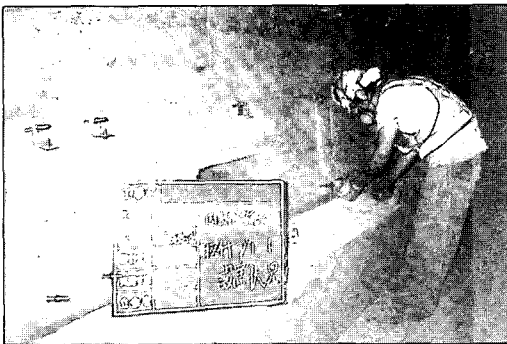
(b) 기존 부착 금속물 철거



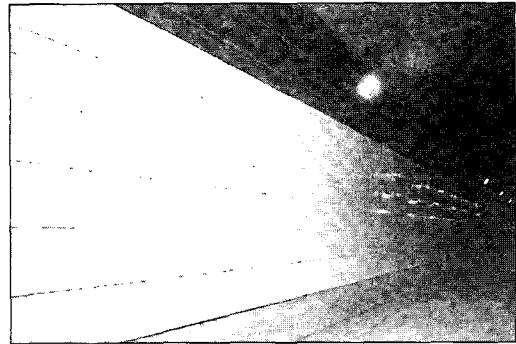
(c) 앵커볼트를 위한 천공



(d) 부착 앵커볼트 설치



(e) 부착금속물 설치



(f) 내장판 설치완료

사진 1. 시공순서

세정 등의 작업원에 대한 안전대책을 사전에 검토할 필요가 있었다. 또한 부착되어 있는 매연이 통행차량의 풍압으로 터널내에 비산먼지로 발생되어 터널

내 환경을 악화시키므로 Vacuum 등으로 청소함과 동시에 살수 등으로 비산먼지가 발생되지 않도록 대책을 마련하여야만 하였다.

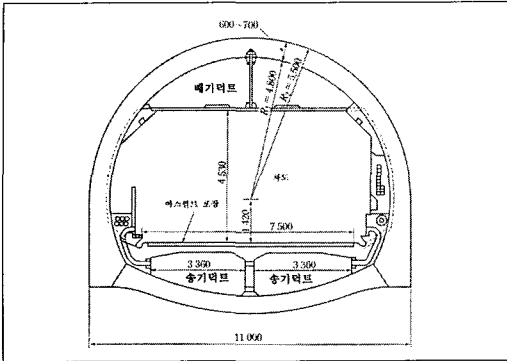


그림 5. 표준단면도

내장판 설치에 있어서는 콘크리트 라이닝이 부분적으로 요철되어 있으므로 앵커볼트 설치시 앵커볼트의 길이를 조정하면서 시공할 필요가 있으며 이것은 시공 사이클에 상당한 손실을 발생시킬 수 있었다. 앵커 타설시에 적당한 수압을 가진 물의 분사등으로 사전에 확인할 필요가 있다.

3. 수지계 재료를 이용한 콘크리트 라이닝 복원공법

3.1 터널 기본정보

가. 연 장: 총연장 상행선: 3,604m

하행선: 3,614m

나. 준공년월: 1958년 3월

다. 단면형상: 마제형(그림 5 참조)

라. 지형·지질조건

본 터널은 그림 6에 나타낸 것과 같이 해저부분 780m를 포함한 터널로서 입구부부터 해저부 최저점까지의 터널구배는 4%, 터널의 최저점 심도는 수면으로부터 약 56m 아래에 존재하였다. 지질은 주로 석회석으로 이루어졌으며 석회암 중간중간에 고생대의 사암, 점판암, 처어트(chert) 및 중생대의 응회질사암, 혈암, 역암 등이 존재하였다. 터널은 이러한 지층을 관통하였으며 또한 화강암류, 편암류 및 빈암류가 존재하는 지질부분도 터널이 통과하였다. 단층 등에 의하여 지질구조는 복잡하게 되어 있었다.

3.2 조사·변상

본 터널은 건설된 후 약 50년동안 공용되었으며 또한 본 터널은 해저에 건설되어 있어 해수의 침투 등에 의한 철근 콘크리트의 부식·열화가 진행되고 있으며 교통량의 증대와 함께 중차량의 증가에 따라

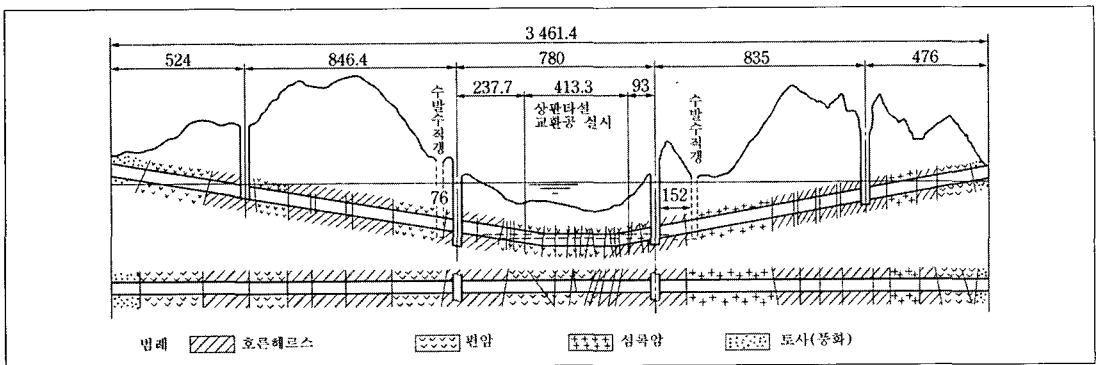


그림 6. 지질 개략도

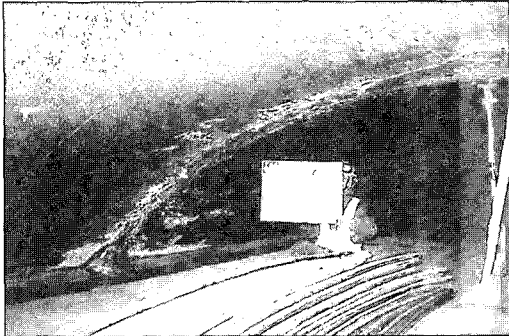


사진 2. 복공 콘크리트 표면의 상황

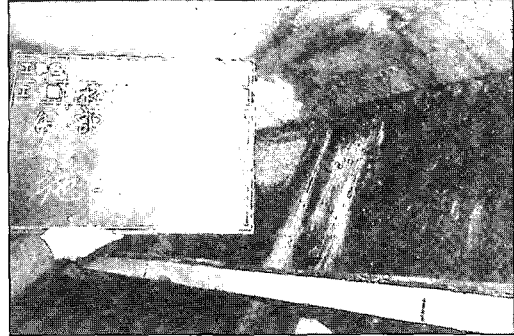


사진 3. 노령화한 배수관주변의 누수상황

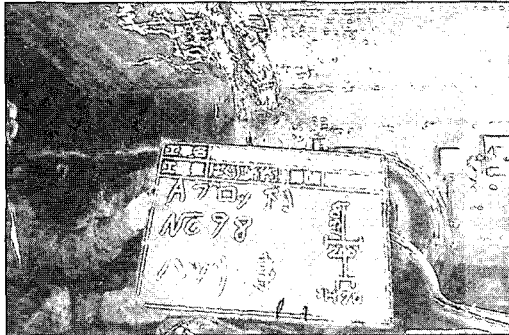


사진 4. 쪼아내기 공사



사진 5. 프라이머 도포상황

차도상판에 손상이 발견되었다. 또한 콘크리트 라이닝 표면의 열화(사진 2), 환기용 입갱주변의 환경과 환기·배수·전기설비 등 노령화(사진 3) 등 비상용 설비장비의 기준부적합이 발견되었다.

3.3 보수·보강공법

콘크리트 라이닝에 발생한 박리에 대한 보수공법은 송풍기 덕트내의 상관하면 및 콘크리트 라이닝 벽면부의 보수를 하는 것으로서 보수보강 시공에 선행하여 육안·타음 조사를 실시하여 보수개소·범위를 결정하였다.

시공에 있어서는 우선 쪼아내기에 의하여 콘크리

트 라이닝의 들뜸·먼지 등을 제거 하였다.(사진 4 참조). 표면에는 매연, 유리석회, 백화, 박테리아슬라임 등이 부착되어 있어 상당히 오염되었기 때문에 기존 콘크리트 라이닝과 보수재료가 확실하게 부착할 수 있도록 정성을 다하여 해머와 정을 이용하여 쪼아내기 작업을 실시하였다. 그 후 쪼아내기 면에 표층을 강화함과 동시에 수지모르타르접착성을 향상시킨 프라이머를 도포하였다.(사진 5참조)

또한 쪼아내기에 의하여 철근이 노출된 부분이 있으면 철근방청처리를 실시하였다. 프라이머 도포 후 곧바로 내구성, 내수성, 내알칼리성이 우수한 에폭시 수지를 혼합한 수지모르타르를 쪼아내기면에 도포하여 팻칭공법에 의하여 단면복원을 실시하였고

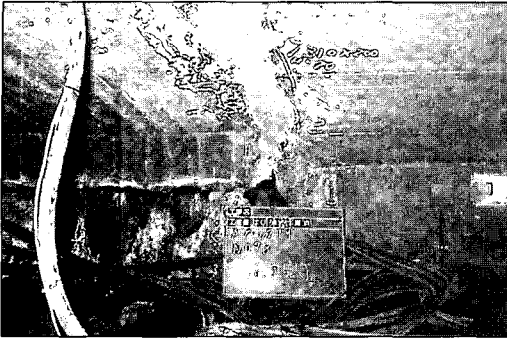


사진 6. 시공후

양생을 실시하였다.(사진 6)

3.4 유의점

본 보수/보강공사에 있어서 본 터널이 해저부분을 포함한 터널인 것을 고려하여 단면 보수/보강부분중에 누수가 발생한 곳에 내구성, 내수성, 내일칼리성이 우수한 수지 모르타르를 사용하였을 뿐 만 아니

라 철근부식 방지를 위해 철근방청처리를 시행하였다. 이와 같이 열화의 상황, 요인, 누수상황 등을 고려하여 시공방법 및 단면수복재를 선정하는 것이 필요하다.

또한 본 공법의 경우에는 결손부가 비교적 작았기 때문에 콘크리트 표면처리 후에 주입재를 이용하여 구멍을 메우는 공법을 실시하였지만 결손부가 깊은 경우는 거푸집을 설치하여 프리팩트공법으로 주입재를 주입하는 공법과 콘크리트를 타설하고 앵커와 철근, 철망 등을 이용하여 단면수복재의 부착강도를 높이는 공법을 선정할 필요가 있다.

참고문헌

1. 梅原和典·豊田昭夫：海底トンネルの上版打替え工事 關門隧道トンネル, トンネルと地下, 第11巻6號 pp. 17-26, 1980

GEORISK 출간 안내

21세기 지구는 기후변화나 환경문제로 고통을 받고 있습니다. 이러한 지구의 현안문제는 인류에게 막대한 피해를 가져다 주고 있습니다. 이러한 지구문제를 해결하는데는 지반공학분야의 전문가 역할이 매우 중요합니다.

이러한 세계적 추세에 비추어 지반공학의 새로운 장을 여는 지반공학의 새로운 논문집이 탄생합니다.

지반공학을 전공하고 지반에 발생하는 다양한 재해, 재난, 실패사례, 사례분석, 제반문제를 다루고 지반구조물의 신뢰성 설계, 성능설계, 통계분석 및 지진, 태풍의 지반피해 등을 다루는 방대한 지반의 재해, 재난을 연구하는 논문집입니다.

논문집 : GEORISK

출판사 : Taylor & Francis

홈페이지 : www.tandf.co.uk/journals/titles/17499518.asp

위원장 : K. K. Phoon (National University of Singapore)

논문내용 : 지반재해, 지반붕괴, 지반파괴, 구조물재해, 신뢰성 설계, 지구통계학, 불확실성 지질통계, 터널붕괴, 사면붕괴, 댐재해예측, 태풍, 지진피해 및 지반재해 전반 등.

해당 논문투고는 학회 홈페이지(게시판)를 참조하시기 바랍니다.