# 제3장 현장조사 및 시험

3.1 현장조사 개요

3.2 현장조사

3.3 현장조사 결과요약

3.4 재료시험 및 측정

3.5 재료시험 결과요약

# 제3장 현장조사 및 시험

## 3.1. 현장조사 개요

### 3.1.1. 개요

본 과업대상 시설물인 능안터널(하)은 2018년 11월 30일에 준공되어 현재까지 약 5년째 공용중인 2종 시설물로서 연장 390m의 NATM형 도로터널이다.

본 터널의 평면선형은 곡선(R=2,276) 및 직선 구간으로 시공되어 있으며, 종단구배는 -0.5 이다. 공법은 NATM 및 개착터널이며, 본선의 지보패턴은 표준단면- 3, 4, 5, 6 으로 시공되었다.

본 시설물에 대한 현장조사는 대상 터널의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단함을 목적으로 가능한 근접한 상태에서 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였다. 따라서 사전 현장답사를 통해 주변여건을 파악하여 현장접근에 필요한 접근방법 및 장비동원과 그에 따른 일정계획을 수립하고, 기초자료의 수집 및 분석을 통한 주요 손상을 파악하는 등의 사전검토를 통하여 주요 손상들을 파악한 후 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침[안전점검·진단 편]-터널편(2022. 12, 국토교통부)』의 실시요령에 따라 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물 기능 및 성능저하, 상태 등을 신속・정확하게 검사・평가하는데 주안점을 두고 외관조사 방향을 결정하였다.

본 터널의 현장조사는 사전 계획 수립에 따라 본선라이닝 및 갱문 등은 야간(21:30~05:00)에 교통 부분통제후 조사를 실시하였다.

현장조사 및 시험의 결과는 터널의 상태평가 및 보수·보강방안을 제시하는 기초자료로 활용하였다.

외관조사는「시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(터널편, 국토교통부, 국토안전관리원, 2022. 12)」에 의거하여 실시하였으며, 터널내부 및 터널외부에 대해 현 상태를 면밀히 조사하여 터널의 안전성을 저해할 만한 구조적 결함의 유무를 중점적으로 조사하였다.

## 가. 외관조사 기간 및 내용

<표 3.1> 외관조사 기간 및 내용

| 구 분 | 기간 | 조사내용 | 참여인원 |
|---|---|---|---|
| 현장답사 | 2023.04.03 | • 현장조사 준비를 위한 사전 현장답사 실시<br>(접근방법, 조사방향, 투입인원 및 장비 계획) | 이택수 외 8인 |
| 1차 조사 | 2023.04.23.<br>(안산방향) | • 현장 외관조사, 재료시험 및 측정<br>(전체 부재에 대한 고소차를 이용한 상세 육안조사 및 장비를 이용한 내구성 시험) | |
| 2차 조사 | 2023.05.02.<br>(안산방향) | • 현장 외관조사<br>(갱구부 사면 근접 육안조사) | |

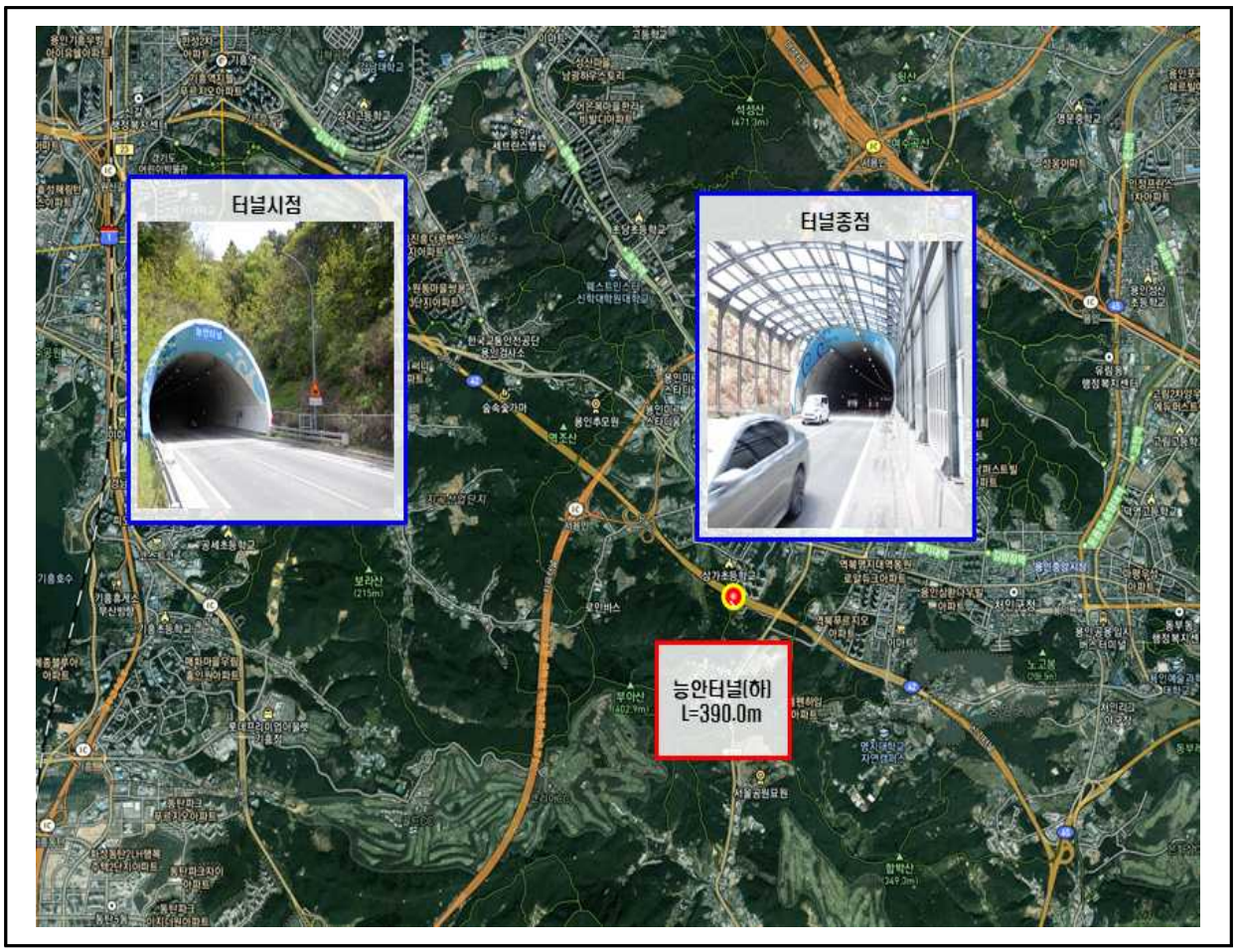
터널 내부 고소점검차 조사

터널 내부 도보조사

디스토를 이용한 제원조사

갱구부 사면 근접 육안조사

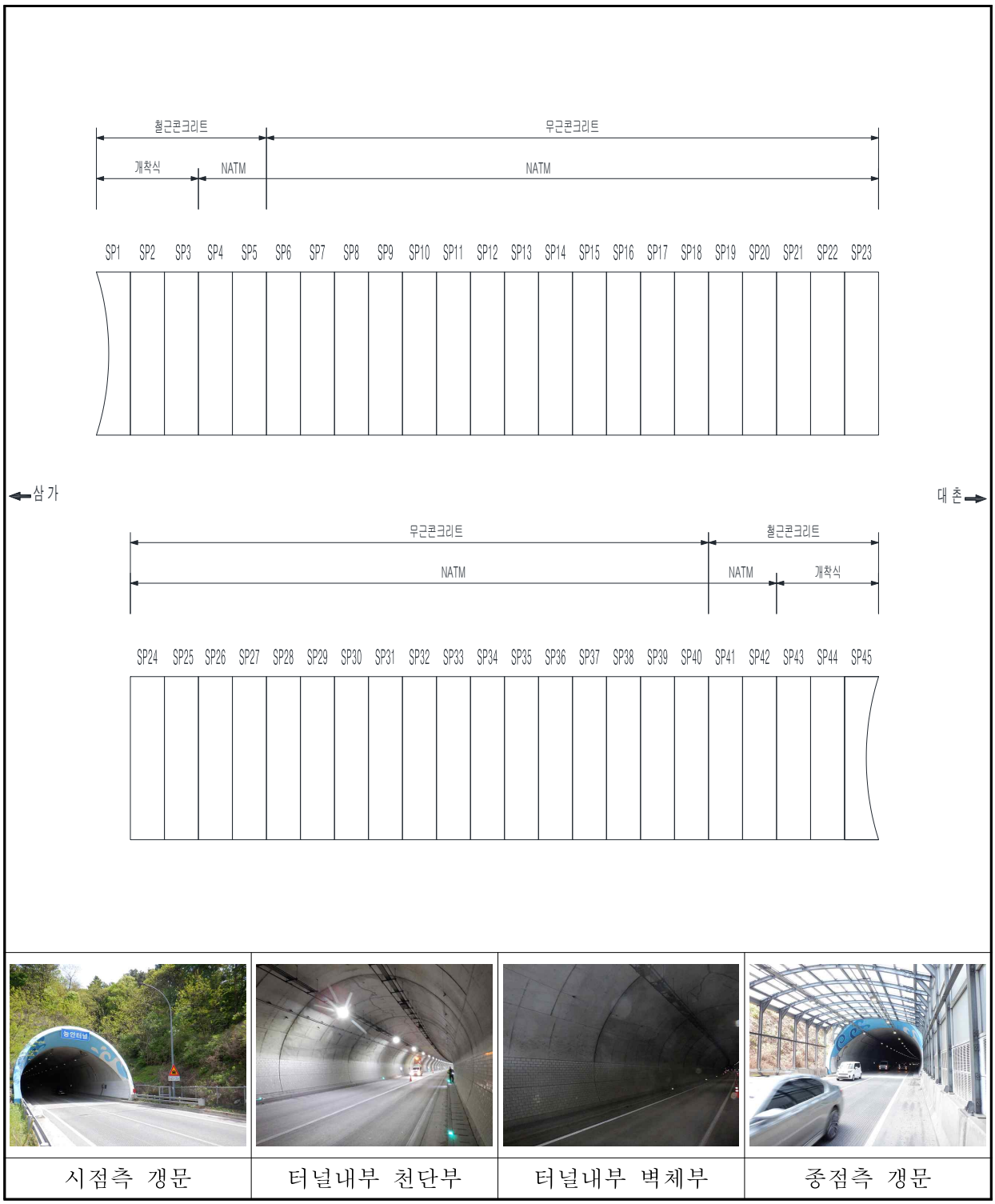
<그림 3.1> 현장조사 현황




<그림 3.2> 능안터널(하) 위치도

## 나. 대상 구조물 현황

금회 과업대상인 능안터널(하)은 총연장 390m인 터널로 철근콘크리트 라이닝 구간 76.0m, 무근콘크리트 라이닝 구간 314.0m이며, 갱문은 변형벨마우스 형식으로 시공되어 있다.




| 시점측 갱문 | 터널내부 천단부 | 터널내부 벽체부 | 종점측 갱문 |
|---|---|---|---|

<그림 3.3> 능안터널(하) 구조물 현황

### 3.1.2. 터널구조물의 주요 결함 발생원인

#### 가. 중대한 결함의정도

터널 시설물에서 대통령령이 정하는 중대한 결함의 적용범위는 다음과 같으며, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 조정할 수 있다.

1) 터널지반의 부등침하

터널지반의 부등침하 정도가 안전등급 기준이“D”이하로 판정 할 수 있는 경우

2) 시설물의 철근콘크리트 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실

콘크리트 탄산화 잔여 깊이 또는 콘크리트 전염화물 이온량 등에 대한 상태평가 기준이 “d” 판정으로 철근노출에 대한 상태평가 기준이“e”를 포함하는 경우

3) 벽체균열 심화 및 탈락

진행성 균열에 대한 상태평가 기준이“d”이하인 경우, 고정 균열은 면적율이 20%이상으로 상태평가 기준이“e”인 경우.

파손 및 손상에서 면적율이 20%이상으로 상태평가 기준이“d”이하인 경우

4) 복공부위 심한 누수 및 변형

누수에서 상태평가 기준이“d”이하이며, 토립자가 함께 나와 구조적 결함을 유발시킬 수 있거나 고드름 및 측빙 등으로 차량통행에 현저한 지장을 주는 경우

터널의 변형정도가 안전등급 기준이“D”이하로 판정 할 수 있는 경우

#### 나. 균열

지하구조물에 발생하는 균열은 구조물의 형상 및 치수와 관련되어 복잡하게 발생된다. 또한 콘크리트는 시멘트, 물, 골재 등으로 조성된 복합재료로 각기 다른 환경 하에서 시공되기 때문에 구조물에서 발생되는 균열은 사용 재료 및 시공 환경과도 관련이 있고 따라서 발생된 균열의 원인을 한가지로 추정하여 분류한다는 것은 쉽지가 않다. 그러나 균열을 분류하여 발생 원인을 추정하는 작업은 발생된 균열의 보수에 도움을 주며 나아가 차후 동일한 형상의 균열 발생을 억제할 수 있는 균열 저감 대책을 수립하는데 많은 도움을 줄 것이다.

터널 구조물에 발생하는 재료적, 시공적, 환경 및 구조, 외력에 의해 발생되는 일반적 균열발생 원인 및 시기 형태별 특징은 다음 표와 같다.

<표 3.2> 균열의 발생원인 및 시기, 형태별 특징

| 대분류 | 중분류 | 소분류 | 원 인 | 발생시기 | 형태 | 특징 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 재료 | 사용 재료 | 시멘트 | 이상응결 | 수시간~1일 | 표면 | ▪ 폭이 크고 짧은 균열이 비교적 빨리 불규칙하게 발생 |
| | | | 수화열 | 수일 | 표면 관통 | ▪ 콘크리트 단면에서 1~2주간 지난 후부터 직선상의 균열이 거의 등간격으로 규칙적으로 발생. 표면에 발생하는 것과 부재를 관통하는 것이 있다. |
| | | | 이상팽창 | 수10일 이상 | 표면 그물 모양 | ▪ 방사형의 그물 모양 균열 |
| | | 골재 | 점토성분 | 수시간~1일 | 표면 그물 모양 | ▪ 콘크리트 표면의 건조에 따라서 불규칙하게 그물모양의 균열이 발생 |
| | | | 저품질 | 수시간~1일 | 표면 | ▪ 불규칙한 짧은 균열 발생 |
| | 사용 재료 | 골재 | 반응성 | 수10일 이상 | 표면 그물 모양 | ▪ 콘크리트 내부에서부터 거북등 모양으로 발생. 다습한 곳에 많다. |
| | 콘크리트 | - | 염분 | 수10일 이상 | 표면 그물 모양 | ▪ 표면이 침식되고, 팽창성 물질이 형성되어 전면에 균열이 발생 |
| | | | 침하·블리딩 | 수시간~1일 | 표면 | ▪ 타설 후 1~2시간에서, 철근의 상부와 벽, 상판의 경계 등에서 단축적으로 발생 |
| | | | 소성수축 | 수시간 | 표면 그물 모양 | ▪ 콘크리트 표면의 건조에 따라서 불규칙하게 그물모양의 균열이 발생 |
| | | | 경화수축 | 수시간~1일 | 표면 그물 모양 관통 | ▪ 개구부나 기둥, 보로 둘러싸인 코너부위에는 경사균열이, 상판·보 등에서는 가는 균열이 등간격으로 수직하게 발생 |
| | | | 건조수축 | 수일~수10일 | | |
| | | | 장기건조수축 | 수10일 이상 | | |

<표 3.3> 균열의 발생원인 및 시기, 형태별 특징(계속)

| 대분류 | 중분류 | 소분류 | 원 인 | 발생시기 | 형태 | 특징 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 시공 | 콘크리트 | 배합 | 혼화재료의 불균일한 분산 | 수시간~1일 | 그물 모양 | ▪팽창성인 것과 수축성인 것이 있으며, 부분적으로 발생 |
| | | | 장시간 비비기 | 수시간~1일 수10일 이상 | 그물모양 표면, 관통 | ▪전면에 그물모양 또는 길이가 짧은 불규칙한 균열이 발생 |
| | | 운반 | 펌프압송시 배합변경 | 수시간~1일 수10일 이상 | 그물모양 표면, 관통 | ▪침하, 블리딩, 건조수축 등의 균열이 발생하기 쉬움 |
| | | 타설 | 타설 순서가 바뀜 | 수시간~1일 수10일 이상 | 관통 | ▪배근의 이동과 피복두께 부족의 원인이 됨 |
| | | | 급속한 타설 | 수시간~1일 | 표면 | ▪거푸집의 변형과 침하, 블리딩에 의한 균열이 발생하기 쉬움 |
| | | 다짐 | 불충분한 다짐 | 수 시간 이상 | 표면 | ▪슬래브에서는 주변에 따라 원형으로 발생. 배근 및 배관의 표면에 발생 |
| | 다짐 | 양생 | 경화전 진동・재하 | 수시간~1일 수일이상 | 표면 | ▪구조 및 외력에 의한 균열과 동일 |
| | | | 초기양생중의 급격한 건조 | 수시간~1일 | 표면그물 모양 | ▪타설 직후, 표면의 각 부분에 짧은 균열이 불규칙하게 발생 |
| | | | 초기 동해 | 수일~수10일 이상 | 표면그물 모양 | ▪가는 균열, 탈형하면 콘크리트면이 하얗게 됨 |
| | | 이어치기 | 이어치기면의 부적합 | 수시간~1일 수10일 이상 | 관통 | ▪이어치기면에서 균열이 발생 |
| | 철근 | 배근 | 배근의이동 | 수10일 이상 | 표면 | ▪슬래브에서는 주변에 따라 원형으로 발생. 배근 및 배관의 표면에 발생 |

<표 3.4> 균열의 발생원인 및 시기, 형태별 특징(계속)

| 대분류 | 중분류 | 소분류 | 원 인 | 발생시기 | 형태 | 특징 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 시공 | 거푸집 | 거푸집 | 거푸집의 변형 | 수시간~1일 | 표면 | ▪ 거푸집이 움직이는 방향으로 평행하게 부분적으로 발생 |
| | | | 누수 (거푸집이나 지반으로부터) | 수시간~1일 | 표면 | ▪ 누수의 흐름에 따라서 균열이 표면에 발생 |
| | | | 거푸집 조기 제거 | 수일 | 표면 | ▪ 콘크리트 강도부족에 의한 균열. 건조수축의 영향도 크게 됨 |
| | | 동바리 | 거푸집, 동바리의 침하 | 수시간~1일 · 수일 | 표면 | ▪ 상판과 보의 단부 상단 및 중앙부 하단 등에 발생 |
| 사용 및 환경 | 물리적 | 온도 습도 | 외부온도 · 습도의 변화 | 수10일 이상 | 표면 관통 | ▪ 건조수축의 균열과 유사. 발생한 균열은 습도 변화에 따라 변동 |
| | | | 부재양면의 온도 · 습도차 | 수10일 이상 | 표면 | ▪ 저온측 또는 저습측의 표면에 휨방향과 직각으로 발생 |
| | | | 동결 · 융해의 반복 | 수10일 이상 | 표면 그물 모양 | ▪ 표면이 부풀어 올라서 부슬부슬 떨어지게 됨 |
| | | | 화재 | 수10일 이상 | 표면 그물 모양 | ▪ 표면 전체에 가는 거북등 모양의 균열이 발생 |
| | | | 표면가열 | 수시간~1일 수10일 이상 | 그물 모양 표면, 관통 | |

<표 3.5> 균열의 발생원인 및 시기, 형태별 특징(계속)

| 대분류 | 중분류 | 소분류 | 원 인 | 발생시기 | 형태 | 특징 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 구조 및 외력 | 하중 | 장기, 단기 동적 하중 | 설계하중이내의 장기하중 | 수10일 이상 | 표면 관통 | ▪ 주로 휨하중에 의해 보나 슬래브의 인장측에 수직으로 균열이 발생 |
| | | | 설계하중을 초과하는 장기하중 | | | |
| | | | 설계하중 이내의 단기・동적 하중 | 수10일 이상 | 표면 관통 | ▪ 전단하중에 의해서 기둥, 보, 벽 등에 45°방향으로 균열이 발생 |
| | | | 설계하중을 초과하는 단기・동적 하중 | | | |
| | 구조 설계 | - | 단면철근량 부족 | 수10일 이상 | 표면 그물 모양 | ▪ 휨하중과 전단하중에 의한 균열 발생과 같은 형태. 상판과 채양 등에서 처진 방향으로 평행한 균열이 발생 |
| | 지지 조건 | - | 구조물의 부등침하 | 수10일 이상 | 표면 관통 | ▪ 45°방향으로 큰 균열이 발생 |
| | | | 지반의 동결 | 시공중 및 사용중 | 표면 관통 | ▪ 동결조건에 따라 다양 |

1) 터널의 주요 발생균열 및 요인

가) 장기 계측 결과의 특징

계측기의 위치와 방향에 관계없이 응력 이력과 크기가 유사하다.

장기적인 응력은 어떤 값으로 수렴하는 것이 아니라 일정한 범위를 두고 움직인다.

라이닝에 발생하는 응력은 균열 응력 이내의 값이다. 겨울철에는 수축하려는 콘크리트를 구속이 막아 수축이 방해받게 되고 따라서 인장응력을 발생시키게 된다. 반대로 여름철에는 콘크리트가 팽창하려고 하나 팽창이 구속되어 압축응력을 발생시키게 된다.

나) 거푸집 탈형시기와 여굴의 존재여부에 따른 균열의 발생원인

천단부는 자중을 가장 많이 받으며 변형이 가장 자유로워 균열은 조기 탈형일수록, 여굴이 발생할수록 많이 나타난다. 이것은 강도 발현 이전의 조기 탈형에 의한 초기 균열발생이 크리프와 건조수축에 의해서 발전하기 때문이라고 볼 수 있다.

여굴이 있는 경우는 여굴이 없는 경우에 비하여 균열의 크기가 크다. 특히 여굴이 생긴 경우는 여굴부위에서 균열이 많이 발생한다.

여굴부위는 콘크리트 타설두께가 표준 라이닝 두께보다 크게는 2~3배까지도 증가하게 된다, 이로 인하여 수화열 발생량이 많아지고 온도 구배가 커지게 된다.

큰 온도 구배에 의해 높은 온도 응력이 발생하지만, 여굴부위의 특성상 접촉면이 넓어져서 보다 많은 구속을 받게 된다.

여굴 부위에서의 큰 온도 응력과 구속은 여굴이 없는 경우보다 균열을 확실히 많이 발생시킨다고 할 수 있다. 최대 응력의 크기는 3일 탈형이 1일 탈형보다 더 컸으며 이는 조기에 탈형된 라이닝에서는 구속이 먼저 없어져서 응력 이완이 용이하였기 때문이며, 3일 후 탈형하는 경우 응력소산이 강도가 상당히 발현된 이후에 발생하므로 응력의 크기가 크다.

특히 자중과 크리프 건조수축의 해석결과가 계측결과와 거의 일치하는 경향을 보이며, 장기적으로 균열을 발생시킨다.

다) 콘크리트 라이닝의 균열발생 원인

터널구조물의 콘크리트 라이닝에 발생될 수 있는 균열 원인은 다음 표와 같다.

<표 3.6> 터널 라이닝 콘크리트에 균열발생 원인

| 구분 | | 내 용 |
|---|---|---|
| 외력적인 원인 | 지반하중 | ▪ 팽창성 지반이나, 지반변형이 늦게 수렴할 경우 장기적인 하중이 숏크리트를 거쳐서 라이닝에 작용할 수 있음. |
| | 수압 | ▪ 배수터널에서 배수가 원활하지 못해 국부적으로 집중될 경우 그 부위에 과도한 하중을 주고 균열을 발생시킬 수 있음. |
| | 편토압 | ▪ 주변의 새로운 구조물 생성이나 새로운 굴착 등에 의해서 지반 평형이 파괴되는 경우에 균열이 발생할 수 있음. |

<표 3.7> 터널 라이닝 콘크리트에 균열발생 원인(계속)

| 구분 | | 내 용 |
|---|---|---|
| 외력이외 원인 | 거푸집의 조기탈형 | ▪ 터널 라이닝의 거푸집 거치 기간은 72시간으로 권장하고 있으나 실제 현장여건 상 24시간만에 탈형하기도 함. |
| | 바닥 인버트의 늦은 시공 | ▪ 링폐합효과를 이용하여 안정을 꾀하는 NATM공법에서 인버트의 시공이 늦어지게 되면 그 효과를 발휘할 수 없어 불완전한 구조물이 됨. |
| | 다짐의 부족 | ▪ 콘크리트 라이닝 구조체는 타설이 천단에서만 이루어지는 경우 측벽부는 재료분리를 일으키기 쉬우며 강도가 저하하게 됨. |
| | Carbonation shrinkage | ▪ 운행차량 배기가스인 이산화탄소는 콘크리트의 알칼리 성분과 반응하여 강도를 저하시키는 효과를 가져오게 되고 균열에 이를 수 있음. |
| | Creep & shrinkage | ▪ 콘크리트에는 장기적으로 크리프 변위가 발생한다. 이변위가 라이닝의 구속으로 제한되면서 응력을 발생시켜 균열을 유발함. |
| | 여굴 및 수화열 | ▪ 라이닝에서 수화열은 큰 문제가 되지 않으나 여굴이나 주변 암반과 온도차가 큰 경우 온도구배가 커져서 균열이 발생 가능함. |
| | 라이닝 벽체의 침하 | ▪ 라이닝 기초의 강성이 부족한 경우 자중이 무거운 라이닝이 침하하게 되고 균열이 발생하게 됨. |
| | 부적절한 신축이음 시공 | ▪ 터널 라이닝에는 구속에 의한 응력집중을 막는 신축이음이 시공되며, 이것이 제대로 시공되지 않은 경우 균열의 원인이 될 수 있음. |

## 다. 누수

수밀 콘크리트 부재의 설계에 있어서 여러 선진외국에서는 균열로부터의 누수의 기준으로 하여 “허용균열폭의 규정치”를 정하여 관리하는 방법을 제안하여 왔다. 그러나 현실적으로 각종 환경 및 시공조건이 다른 현장에서 이러한 이론치의 균열을 통제하는 것이 불가능하였다.

따라서 과거에 주로 사용되어왔던 수밀 콘크리트의 허용균열폭 규정치는 콘크리트 타설 현장의 조건으로는 잘 이루어지지 못하여 왔으므로, 이에 대한 점을 고려하여 누수원인을 분석・검토 하였다.

1) 콘크리트 수밀성에 미치는 요인

가) 콘크리트 재료의 영향으로서 시멘트의 종류와 분말도, 골재의 형성과 크기 및 종류, 화학 혼화제(劑:방수제) 및 혼화재(材:방수재), 팽창제 등의 영향

나) 콘크리트 배합의 영향으로서 물-시멘트비, 조골재의 최대크기, 공기량의 영향

다) 콘크리트 시공방법의 영향으로서 타설 온도 및 양생 온도, 공기 중 폭로, 이어 치기부(시공조인트)의 수밀성

라) 기타 현장 콘크리트에서 나타나는 폼타이 연결부, 골재분리 및 곰보, 신축줄눈부, 균열

2) 방수공 및 배수공의 설치

콘크리트의 구조체 외방수를 위한 방수재의 종류는 10여종이 넘고 있으며, 이미 전통적으로 사용되어온 재료이나, 여전히 방수의 완벽성을 기하지 못하고 누수가 계속적으로 발생하고 있다. 이러한 주요 누수 원인은 다음과 같다.

가) 콘크리트 구조체 균열 발생 또는 구조체 거동에 의한 방수층의 파단 및 탈락

나) 시트계 방수층의 겹침부 조인트의 수밀성 상실

다) 되메우기 작업시 방수층의 파손 및 찢김

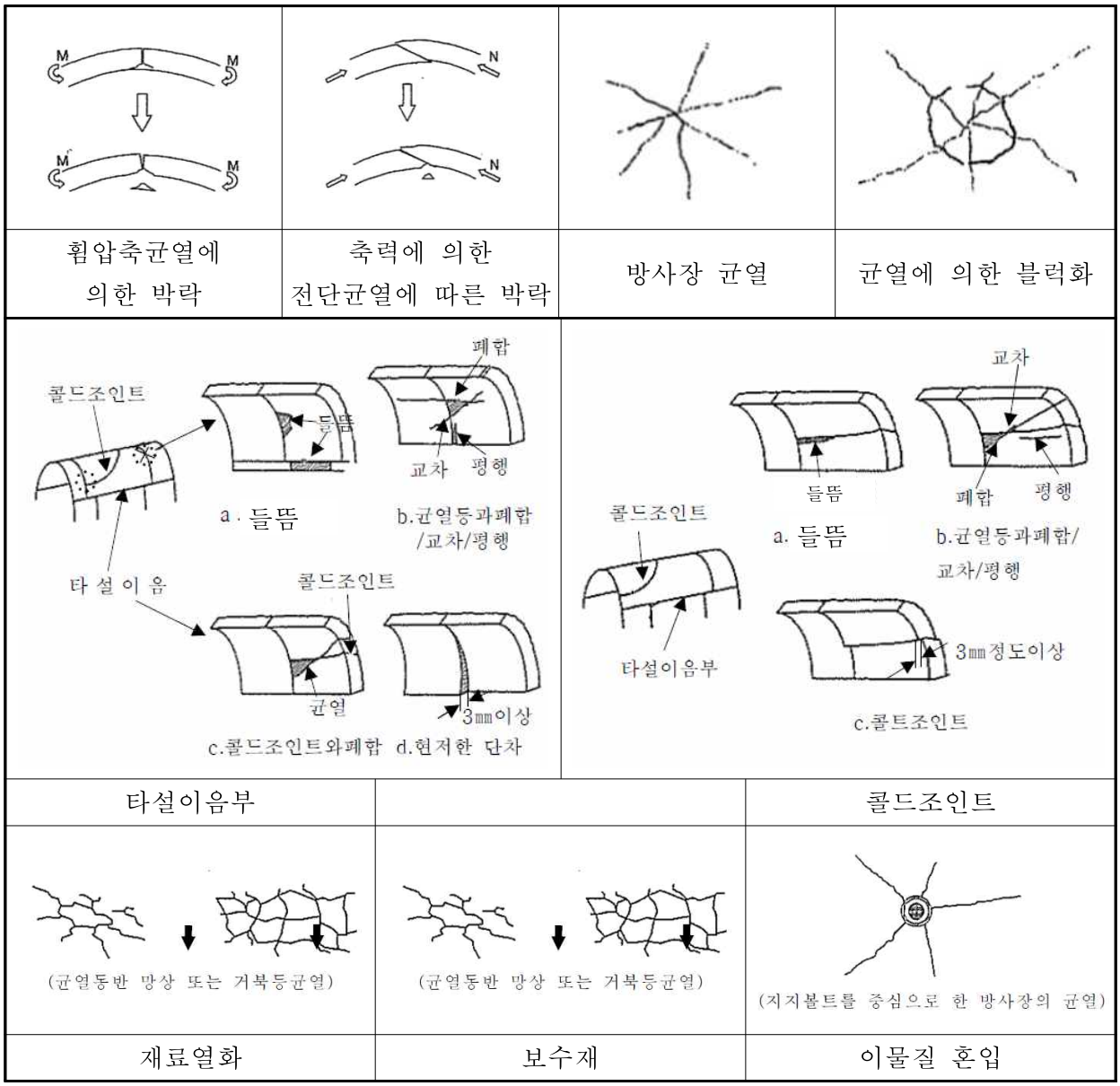
라) 콘크리트 표면과의 접착불량에 탈락

마) 화학적 기능 상실 등

## 라. 박리·박락

균열이나 줄눈깨짐이 밀집되어 발생하는 변상으로서, 라이닝 내면의 일부가 박리 또는 붕락하는 현상이다. 대체로 철도터널에서 모르터에 의한 누수방지공에서의 박리·박락 사례가 많은 편이다. 라이닝의 어깨부에 발생하는 압좌현상과 시공이음부를 따라 발생하는 박리는 선상으로서 연속적인 것이 많으며, 재료의 열화와 국부적인 라이닝 두께부족으로 인해 발생하는 박리·박락은 면상의 경우가 많다.

통상적으로 어깨부에 발생하는 박리·박락은 터널의 안전성에 미치는 영향이 크다고 알려져 있으므로 조사될 경우 발생 원인에 대한 전문가의 세밀한 조사와 분석이 필요하다.




<그림 3.4> 박리·박락 발생원인

### 마. 백태

백태의 발생원인은 여러가지 원인이 있지만 주로 누수의 원인과 동일한 공극에 의한 원인, 균열에 의한 원인, 콘크리트 품질미흡(불건전 콘크리트)에 의한 원인, 신축이음부로 발생하는 백태 등이 있다. 누수와 발생원인이 비슷한 만큼 백태가 발생된 곳은 우기 시 또는 지하수위 상승 시 누수가 동반될 확률이 높다. 그러므로 백태가 밀집된 대규모 발생부, 백태 발생부 하부로 누수흔적이 뚜렷한 부분은 우기 시 또는 지하수위 상승 시 점검을 통해 누수가 발생하는 지 확인이 필요하다. 또한 터널에서 균열에 의한 백태의 경우 아치상부의 종방향으로 5m이상 연속되어 발생하였거나, 밀집된 대규모의 백태가 발생한 경우는 균열의 상태 및 균열 폭 등을 주의·관찰 할 필요가 있다.

## 3.1.3. 측점분할

본 과업대상 터널의 측점분할은 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 및 세부지침(2022. 12)」의 기준 및 상태평가시 전회차 정밀안전점검과의 비교·평가를 위해 신축이음을 기준으로 측점분할을 하였으며, 상태평가시 평가단위 분할에 활용하였다.

<표 3.8> 측점분할

| Span No. | 형식 | 라이닝 구분 |
|---|---|---|
| Span 1 | 개착식 | 철근콘크리트 라이닝 |
| Span 2 | 개착식 | 철근콘크리트 라이닝 |
| Span 3 | 개착식 | 철근콘크리트 라이닝 |
| Span 4 | NATM | 철근콘크리트 라이닝 |
| Span 5 | NATM | 철근콘크리트 라이닝 |
| Span 6 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 7 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 8 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 9 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 10 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 11 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 12 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 13 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 14 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 15 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 16 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 17 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 18 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 19 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 20 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |

<표 3.9> 측점분할(계속)

| Span No. | 형식 | 라이닝 구분 |
|---|---|---|
| Span 21 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 22 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 23 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 24 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 25 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 26 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 27 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 28 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 29 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 30 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 31 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 32 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 33 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 34 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 35 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 36 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 37 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 38 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 39 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 40 | NATM | 무근콘크리트 라이닝 |
| Span 41 | NATM | 철근콘크리트 라이닝 |
| Span 42 | NATM | 철근콘크리트 라이닝 |
| Span 43 | 개착식 | 철근콘크리트 라이닝 |
| Span 44 | 개착식 | 철근콘크리트 라이닝 |
| Span 45 | 개착식 | 철근콘크리트 라이닝 |

## 3.2. 현장조사

### 3.2.1. 터널 주변 현황

능안터널(하)은 신중부대로인 국도 42호선 노선으로 경기도 용인시 처인구 삼가동에 위치하고 있으며 삼가에서 대촌방향으로 부아산을 관통하는 도로터널로 터널축상에 하천은 없는 것으로 조사되었다.

## 가. 사면

1) 개요

시·종점부 사면에 대한 준공도서 검토 결과 반상 흑운모 편마암으로 구성되어 있으며, 약간 풍화 내지 보통풍화, 강한 강도를 나타내고 있으, 회색 내지 담회색의 색조를 띠고 있다. 완만한 구릉지 지형의 형태를 띠고 있으며 일부 노두 노출이 발생한 곳은 그물망이 설치된 것으로 조사되었다.

2) 시·종점 사면 손상원인 및 대책

상기와 같은 현황을 숙지하여 현장조사 간 면밀히 확인하였으나, 2018년 준공되어 약 5년이 경과한 현재 표토층이 형성되어 암반은 비노출 상태였으며, 표토층의 상태는 적절한 녹생토 시공으로 식생이 활발한 상태로 관찰되었으며 지속적인 주의관찰이 바람직하다.

시점 사면 현황

종점 사면 현황

3) 기 점검 결과와의 비교

기 점검(2021년) 정밀안전점검 결과 비교 시 신규손상은 조사되지 않은 양호한 상태이며, 향후에도 사면에 대한 지속적인 주의관찰이 필요하다.

## 나. 배수계통

1) 개요

능안터널(하)의 배수로는 사면을 따라 연결된 산마루 측구 구조로 절토사면과 횡단배수 구배로부터 유입된 물을 노반의 집수정으로 유도하고 있으며, 현장타설 콘크리트로 ㅁ형 구조로 시공되어있다.

2) 시·종점부 배수계통 손상원인 및 대책

2018년 준공되어 약 5년이 경과한 현재 시점 산마루 측구 배수로에 일부 낙엽 퇴적과 이격 1개소가 조사되었다. 해당 손상은 측구 시점부에서 발생하였으며 배수기능에는 문제가 없는 것으로 확인되어 보수보다는 점검시 주의관찰이 필요할 것으로 판단된다.

시점 배수로 낙엽퇴적

시점 배수로 이격

종점 배수계통 현황

3) 손상물량

<표 3.10> 배수계통 손상물량표

| 구분 | 손상현황 | 물량 | 단위 | 개소 |
|---|---|---|---|---|
| 산마루 측구 | 배수로 이격 | 0.07 | m | 1 |

4) 기 점검 결과와의 비교

전회(2021년) 정밀안전점검 결과 비교 시 신규손상 이격이 조사되었으며, 점검 시 주의 관찰이 바람직하다.

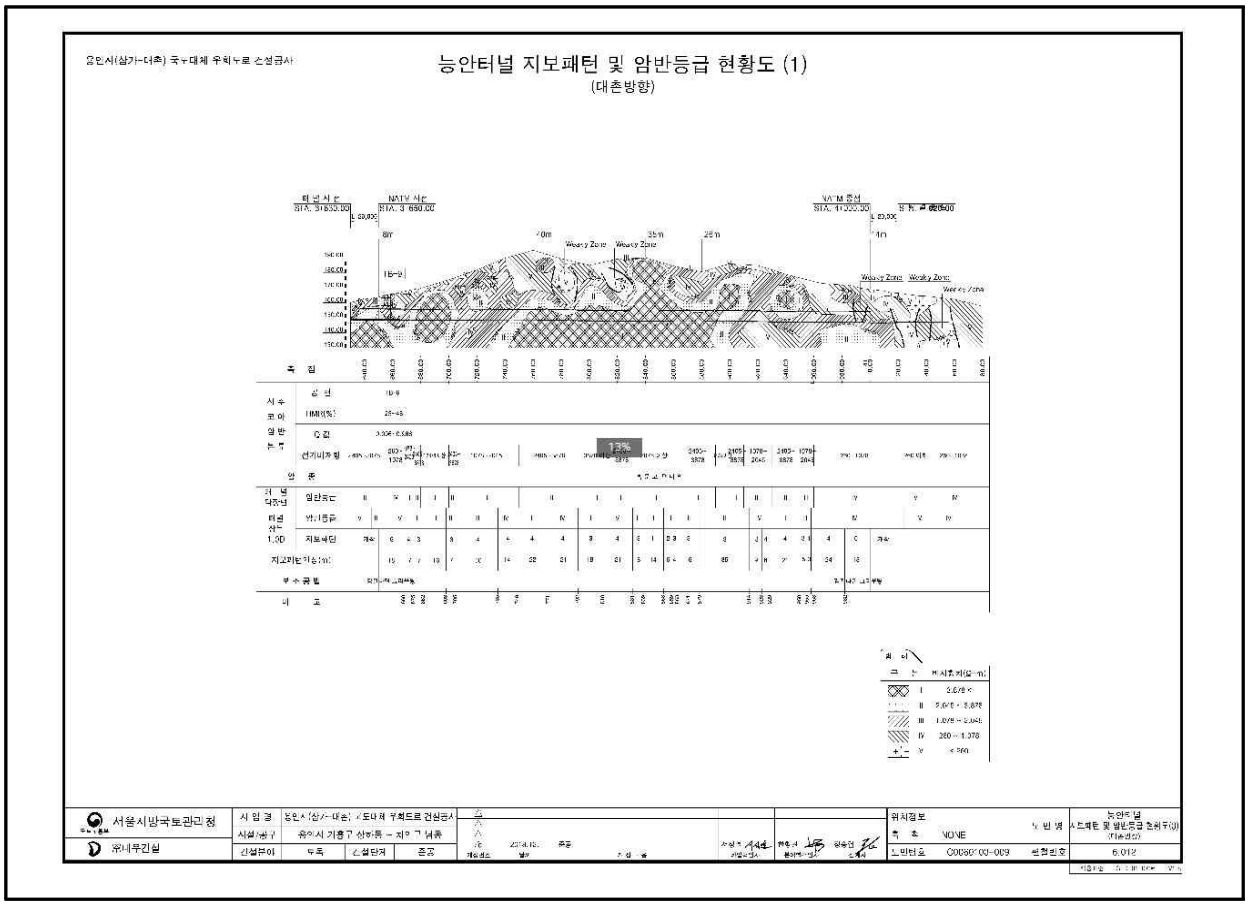
<표 3.11> 배수계통 기 점검 결과와 비교표

| 구분 | 손상현황 | 단위 | 2021년 정밀안전점검 | | 금회(2023년) 정밀안전점검 | | 증감 | 향후대책 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | | |
| 배수계통 | 배수로 이격 | m | - | - | 0.07 | 1 | ▲ | 주의관찰 |

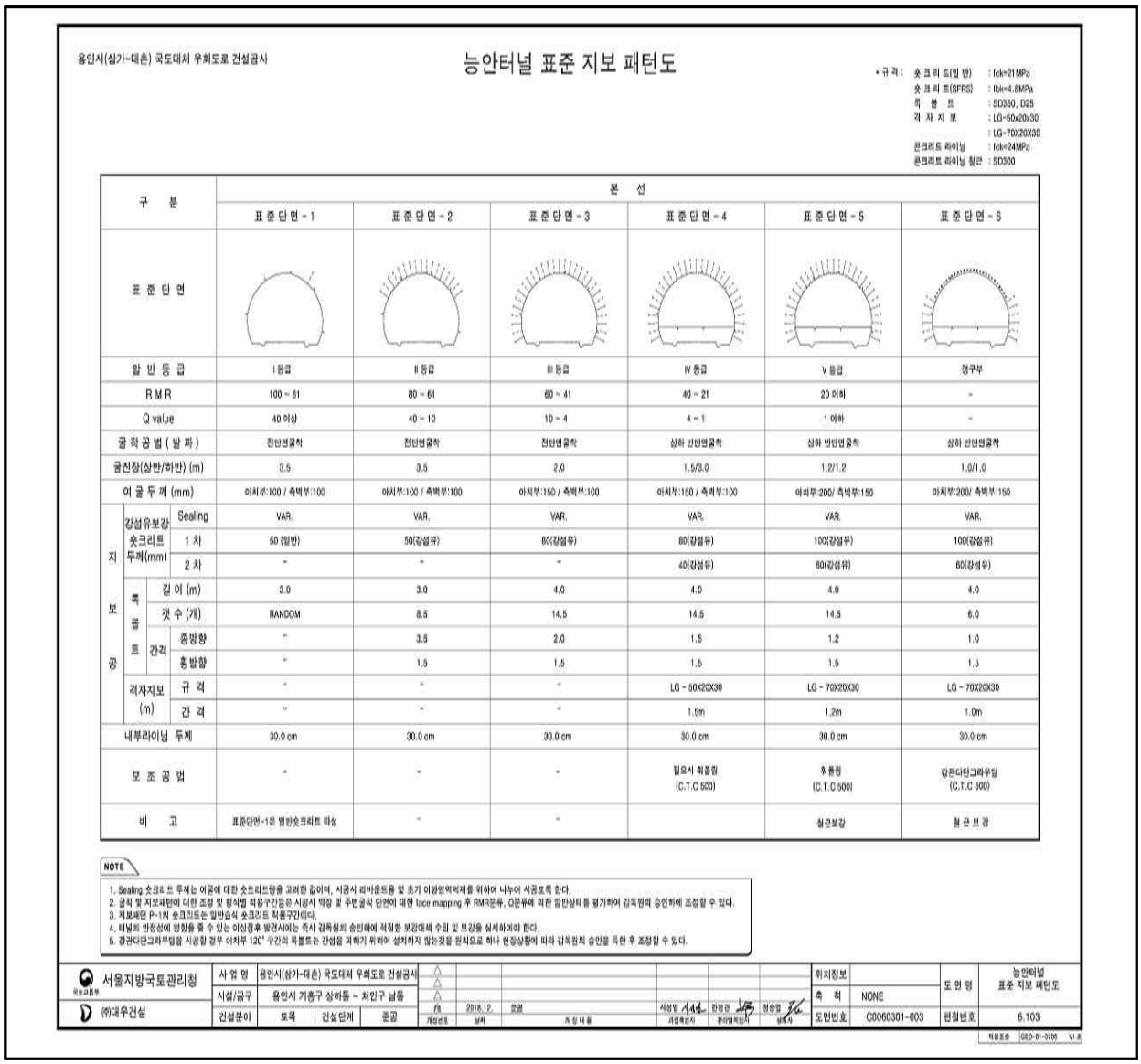
## 3.2.2. 본선 라이닝

금회 과업대상 시설물인 능안터널(하)은 2018년에 준공되어 약 5년간 공용중인 터널 구조물로서 터널 좌·우측 벽체는 도보를 이용, 천단부는 고소점검차를 이용하여 최대한 근접하여 균열, 누수, 재질열화 등의 손상에 대하여 점검하였다.

능안터널(하) 본선의 지보패턴은 Type-1~6으로 시공되었으며, 지보패턴은 다음 그림과 같다.




<그림 3.5> 능안터널(하) 지보패턴



용인시(심가~대촌) 국도대체 우회도로 건설공사

능안터널 표준 지보 패턴도

• 규격 : 숏크리트(일반) : fck=21MPa
숏크리트(SFRS) : fck=4.5MPa
록 볼 트 : SD350, D25
격 자 지 보 : LG-50x20x30
: LG-70X20X30
콘크리트 라이닝 : fck=24MPa
콘크리트 라이닝 철근 : SD300

| 구 분 | | | 본 선 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 표준단면-1 | 표준단면-2 | 표준단면-3 | 표준단면-4 | 표준단면-5 | 표준단면-6 |
| 표준단면 | | | | | | | | |
| 암반등급 | | | I등급 | II등급 | III등급 | IV등급 | V등급 | 갱구부 |
| RMR | | | 100 ~ 81 | 80 ~ 61 | 60 ~ 41 | 40 ~ 21 | 20 이하 | - |
| Q value | | | 40 이상 | 40 ~ 10 | 10 ~ 4 | 4 ~ 1 | 1 이하 | - |
| 굴착공법(발파) | | | 전단면굴착 | 전단면굴착 | 전단면굴착 | 상하 반단면굴착 | 상하 반단면굴착 | 상하 반단면굴착 |
| 굴진장(상반/하반) (m) | | | 3.5 | 3.5 | 2.0 | 1.5/3.0 | 1.2/1.2 | 1.0/1.0 |
| 여굴두께 (mm) | | | 아치부:100 / 측벽부:100 | 아치부:100 / 측벽부:100 | 아치부:150 / 측벽부:100 | 아치부:150 / 측벽부:100 | 아치부:200/ 측벽부:150 | 아치부:200/ 측벽부:150 |
| 지보공 | 강섬유보강 숏크리트 두께(mm) | Sealing | VAR. | VAR. | VAR. | VAR. | VAR. | VAR. |
| | | 1차 | 50 (일반) | 50(강섬유) | 60(강섬유) | 80(강섬유) | 100(강섬유) | 100(강섬유) |
| | | 2차 | - | - | - | 40(강섬유) | 60(강섬유) | 60(강섬유) |
| | 록볼트 | 길이 (m) | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 |
| | | 갯수 (개) | RANDOM | 8.5 | 14.5 | 14.5 | 14.5 | 6.0 |
| | | 간격 종방향 | - | 3.5 | 2.0 | 1.5 | 1.2 | 1.0 |
| | | 간격 횡방향 | - | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| | 격자지보 (m) | 규격 | - | - | - | LG - 50X20X30 | LG - 70X20X30 | LG - 70X20X30 |
| | | 간격 | - | - | - | 1.5m | 1.2m | 1.0m |
| 내부라이닝 두께 | | | 30.0 cm | 30.0 cm | 30.0 cm | 30.0 cm | 30.0 cm | 30.0 cm |
| 보조공법 | | | - | - | - | 필요시 휘폴링 (C.T.C 500) | 휘폴링 (C.T.C 500) | 강관다단그라우팅 (C.T.C 500) |
| 비고 | | | 표준단면-1은 일반숏크리트 타설 | - | - | | 철근보강 | 철근보강 |

NOTE
1. Sealing 숏크리트 두께는 여굴에 대한 숏크리트량을 고려한 값이며, 시공시 리바운드를 및 초기 이완영역억제를 위하여 나누어 시공토록 한다.
2. 굴착 및 지보패턴에 대한 조정 및 형식법 적용구간등은 시공시 막장 및 주변굴착 단면에 대한 face mapping 후 RMR분류, Q분류에 의한 절반상태를 평가하여 감독원의 승인하에 조정할 수 있다.
3. 지보패턴 P-1의 숏크리트는 일반습식 숏크리트 적용구간이다.
4. 터널의 안정성에 영향을 줄 수 있는 이상징후 발견시에는 즉시 감독원의 승인하에 적절한 보강대책 수립 및 보강을 실시하여야 한다.
5. 강관다단그라우팅을 시공할 경우 아치부 120° 구간의 록볼트는 간섭을 피하기 위하여 설치하지 않는것을 원칙으로 하나 현장상황에 따라 감독원의 승인을 득한 후 조정할 수 있다.

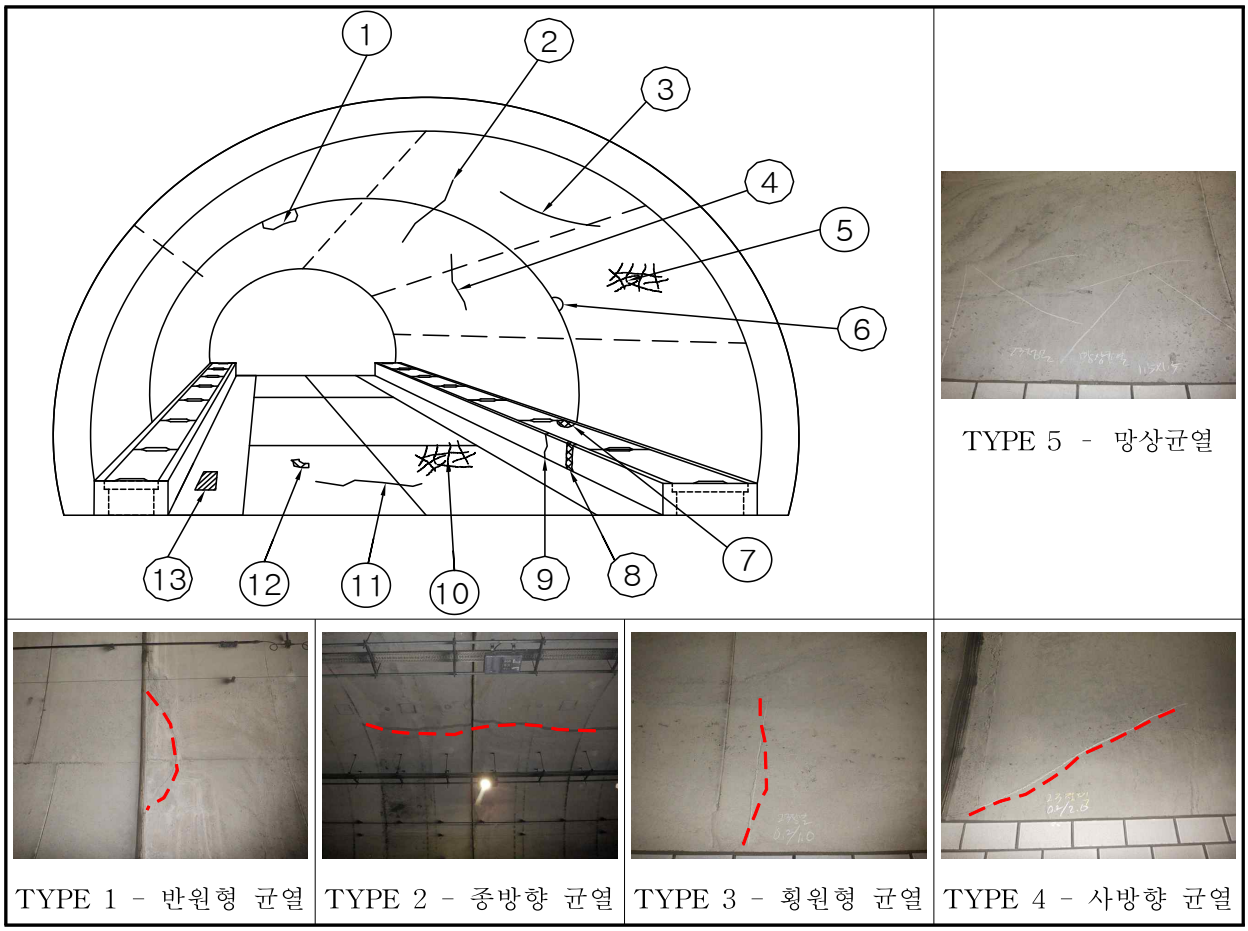
| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 서울지방국토관리청 | 사 업 명 | 용인시(심가~대촌) 국도대체 우회도로 건설공사 | | | | | | | 위치정보 | | 도 면 명 | 능안터널 표준 지보 패턴도 |
| | 시설/공구 | 용인시 기흥구 상하동 ~ 처인구 남동 | | | | | | | 축 척 | NONE | | |
| (주)대우건설 | 건설분야 | 토목 | 건설단계 | 준공 | 개정번호 | 일자 | 개정 내용 | 작성 | 검토 | 승인 | 도면번호 | C0060301-003 | 원철번호 | 6.103 |

<그림 3.6> 능안터널(하) 지보패턴(상세)

<그림 3.7> 능안터널(하) 라이닝 전경

## 가. 균열

능안터널(하)의 균열은 폭 0.1 ~ 0.3㎜의 균열이 조사되었으며, 균열의 형태는 종방향 균열, 횡방향균열, 반원형균열, 망상균열, 사방향 균열로 구분된다.




<그림 3.8> 능안터널(하) 라이닝 균열발생 패턴

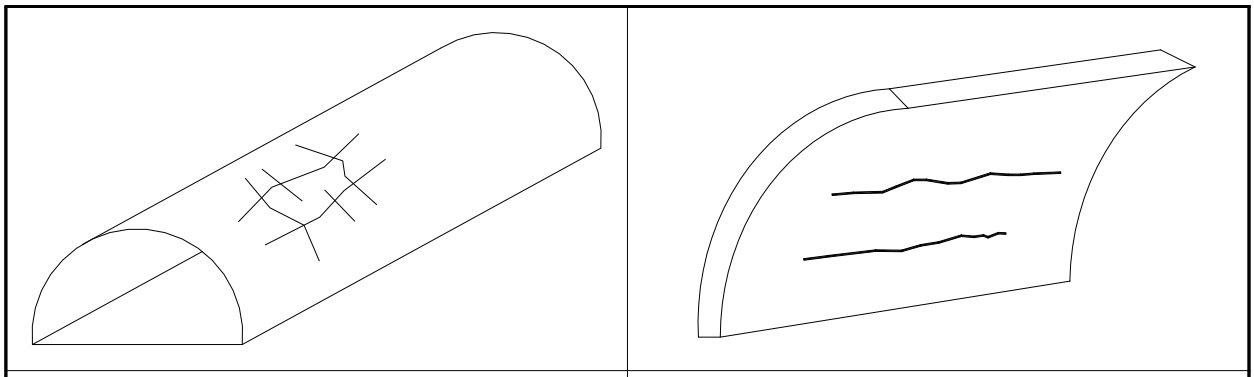
<표 3.12> 균열 형태별 총 손상수량 집계

| 구분 | 균열발생현황 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | m/개소 | | | | ㎡/개소 |
| | 종방향 균열 | 횡방향 균열 | 반원형 균열 | 사방향 균열 | 망상균열 |
| 철근배근 구간 | 31.0/7 | 3.0/2 | - | 1.0/1 | 16.15/5 |
| 무근구간 | 34.8/6 | 29.3/15 | 14.6/10 | 3.7/4 | 56.7/12 |

- 금회 점검시 균열발생 조사 결과 대부분의 균열은 종방향 및 횡방향 균열로 조사되었으며, 국부적으로 반원형 균열, 사방향 균열, 망상균열이 조사되었다.
- 기존 균열발생 수량과 금회 점검 시 균열 발생 물량 비교 결과 SPAN17~19, SPAN25~28 구간에서 다수 증가한 것으로 나타났으며, 전회차 점검 시 조사된 균열 들은 대부분 진전이 없는 상태이다.
- NATM 터널은 지반변위가 수렴된 이후에 콘크리트 라이닝을 시공하기 때문에 준공 후 지반이 안정된 상태라면 라이닝에 지반의 소성압, 이완하중 등의 외력이 작용하는 경우는 극히 드물지만 원지반에 협재된 취약한 특정 암반의 스웰링(Swellling)과 스퀴징(Squeezing) 등으로 인해 장기 소성변형이 진행 중이거나 터널 내 배수불량으로 인한 잔류수압, 인접위치에서의 굴착공사나 천재지변 등에 의한 지각변동, 석회암 지대의 용식작용과 같은 지반조건의 변화가 있는 경우에는 추가적인 응력이 작용할 수 있다. 자료수집 및 분석 결과 능안터널(하)의 경우 전회차 점검 이후 지반조건의 변화가 없는 상태로 전회차 점검과 균열 손상물량은 큰 변동이 없으며, 신규균열 또한 대부분 미세균열로 지반이완 및 소성압, 이완하중, 팽창압에 의한 구조적 균열 발생은 아닌 것으로 판단된다.
- 능안터널(하)에서 발생된 균열은 전회차 점검과 비교 시 균열 폭의 진전은 없는 것으로 조사되어 향후 점검시 지속적으로 균열 폭 및 길이진전 등 주의관찰이 필요하다.
- 조사된 균열중 상태등급 “c”등급 이상의 균열은 없는 것으로 조사되었으며, 폭0.3㎜ 이상 균열또한 구조적요인에 의해 발생된 것은 아니지만 내구성 확보 차원의 주입 보수가 필요한 것으로 판단된다.

1) 종방향균열

- 종방향 균열 발생현황 분석결과 지반 및 지형과 관련없이 라이닝의 전 구간에 걸쳐 조사되었으며, 대부분 상태등급 “a~b”에 해당하는 폭 0.3㎜이하 균열로 조사되었다.
- 종방향 균열은 Span내에서 한정되어 발생하였고 특히 철근구간에서는 c등급에 해당하는 0.3㎜초과 균열은 조사되지 않았으며, 균열 단차 또한 발생하지 않은 것으로 조사되었다. 전회차 정밀안전점검시 조사된 균열의 진전성 여부를 확인한 결과 대부분 균열의 진전성은 조사되지 않아 종방향 균열의 발생원인은 시공초기 수화열 및 건조수축과 급속타설 등이 복합적으로 작용한 시공초기 균열로 판단된다.

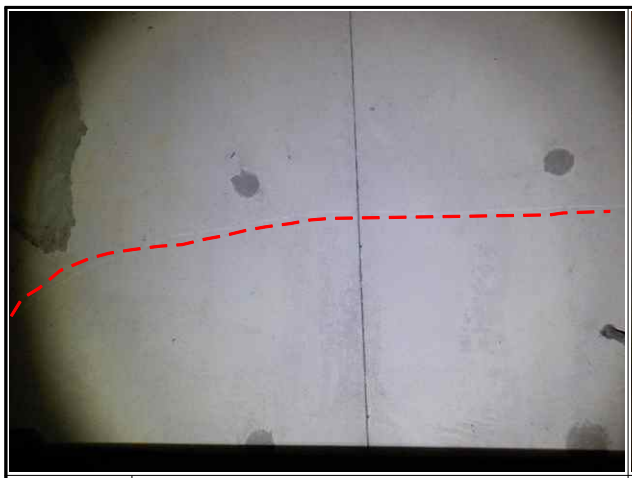


| 수화열 및 건조수축 | 콘크리트의 급속타설 |
|---|---|

<그림 3.9> 터널구조물에서의 일반적인 균열 발생 원인
**(콘크리트 구조물 균열, 누수 보수·보강시방서, 국토교통부)**

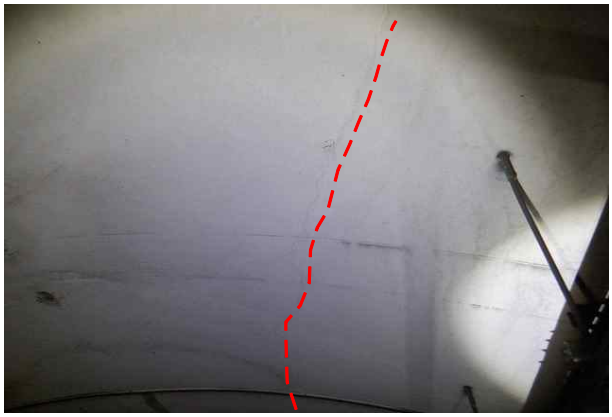
<표 3.13> 종방향 균열 손상수량 집계

| 구분 | | 상태등급 "a~b" | | | | 상태등급 "c" | | 상태등급 "d" | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.1~0.2㎜ | | 0.3㎜ | | 0.4~0.5㎜ | | 0.5㎜ 초과 | |
| | | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 |
| 철근 배근 구간 | 천단 | 27.0/5 | 30.0/6 | - | - | - | - | - | - |
| | 벽체+어깨 | 1.0/1 | 1.0/1 | - | - | - | - | - | - |
| 구분 | | 0.1~0.2㎜ | | 0.3㎜ | | 0.4~1.0㎜ | | 1.0㎜ 초과 | |
| | | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 |
| 무근 구간 | 천단 | 25.0/3 | 29.0/4 | 5.0/1 | 5.0/1 | - | - | - | - |
| | 벽체+어깨 | 0.8/1 | 0.8/1 | - | - | - | - | - | - |
| 합 계 | | 53.8/10 | 60.8/12 | 5.0/1 | 5.0/1 | - | - | - | - |



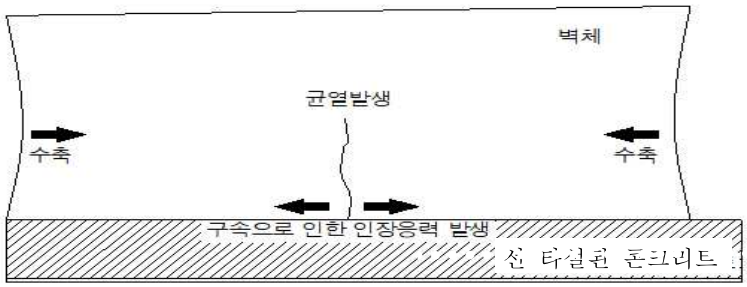
| 위 치 | • SPAN2 천단부 |
|---|---|
| 현 황 | • 종방향 균열(cw=0.2), 2EA |
| 원 인 | • 수화열, 건조수축, 급속타설 등 |
| 대 책 | • 표면처리 |

| 위 치 | • SPAN4 천단부 |
|---|---|
| 현 황 | • 종방향 균열(cw=0.2), 2EA |
| 원 인 | • 수화열, 건조수축, 급속타설 등 |
| 대 책 | • 표면처리 |

| | |  | |
|---|---|---|---|
| 위 치 | • SPAN5 우측벽체부 | 위 치 | • SPAN22 천단부 |
| 현 황 | • 종방향 균열(cw=0.2) | 현 황 | • 종방향 균열(cw=0.3) |
| 원 인 | • 수화열, 건조수축, 급속타설 등 | 원 인 | • 보수재 노후화 및 시공미흡 |
| 대 책 | • 표면처리 | 대 책 | • 주입보수 |

2) 횡방향균열

- 횡방향 균열 발생현황 분석결과 지반 및 지형과 관련없이 라이닝의 전 구간에 걸쳐 조사되었으며, 대부분 상태등급 “a~b”에 해당하는 0.3㎜이하 균열(52.01%), 0.3㎜이상 균열(47.99%) 로 조사되었다.
- 횡방향 균열 발생현황 분석결과 대부분 벽체 및 어깨부에 발생한 것으로 조사되었으며, 대부분 벽체하단부에서 수직형태로 일부는 어깨부까지 발생되었고 균열의 방향성은 벽체 하단부에서 상단부로 발생된 것으로 조사되었다. 따라서 균열의 발생원인은 시공초기 수화열에 의한 외부구속응력(선 타설된 콘크리트)과 건조수축 등이 복합적으로 작용된 비구조적 균열로 판단되며, 일부개소에서 발생된 보수부 재균열은 보수재 노후화 및 시공미흡으로 인해 발생된 것으로 추정된다.
- 유지관리시 주기적인 점검을 통한 주의관찰이 필요한 것으로 판단된다.




<그림 3.10> 횡방향 균열 발생 개요

<표 3.14> 횡방향 균열 손상집계

| 구분 | | 상태등급 "a~b" | | | | 상태등급 "c" | | 상태등급 "d" | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.1~0.2㎜ | | 0.3㎜ | | 0.4~0.5㎜ | | 0.5㎜ 초과 | |
| | | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 |
| 철근 구간 | 천단 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 벽체+어깨 | 3.0/2 | 3.0/2 | - | - | - | - | - | - |
| 구분 | | 0.1~0.2㎜ | | 0.3㎜ | | 0.4~1.0㎜ | | 1.0㎜ 초과 | |
| | | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 |
| 무근 구간 | 천단 | 2.5/1 | 2.0/2 | - | 9.5/2 | - | - | - | - |
| | 벽체+어깨 | 12.8/9 | 11.8/8 | - | 6.0/3 | - | - | - | - |
| 합 계 | | 18.3/12 | 16.8/12 | - | 15.5/5 | - | - | - | - |

| | |
|---|---|
| 위 치 | • SPAN9 우측벽체부 |
| 현 황 | • 횡방향 균열(cw=0.2) |
| 원 인 | • 수화열 및 건조수축 |
| 대 책 | • 표면처리 |

| | |
|---|---|
| 위 치 | • SPAN11 천단부 및 좌측어깨부 |
| 현 황 | • 횡방향 균열(cw=0.3) |
| 원 인 | • 수화열 및 건조수축 |
| 대 책 | • 주입보수 |

| | |
|---|---|
| 위 치 | • SPAN28 좌측벽체부 |
| 현 황 | • 횡방향 균열(cw=0.3) |
| 원 인 | • 수화열 및 건조수축 |
| 대 책 | • 주입보수 |

| | |
|---|---|
| 위 치 | • SPAN37 천단부 |
| 현 황 | • 횡방향 균열(cw=0.3) |
| 원 인 | • 수화열 및 건조수축 |
| 대 책 | • 주입보수 |

3) 반원형균열

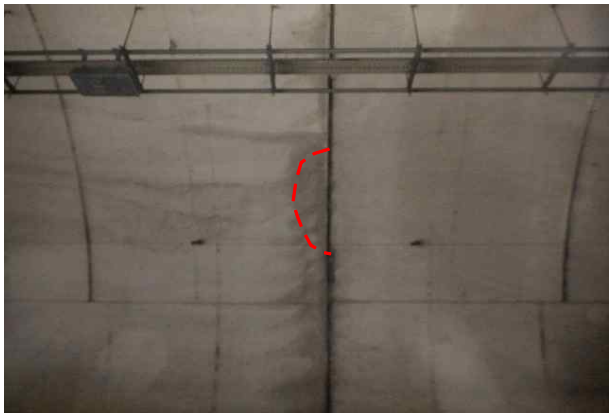
- 반원형 균열은 신축이음부와 인접하여 발생하였으며, 금회 정밀안전점검시 무근콘크리트 라이닝에서 폭0.3㎜이하 균열(9개소), 폭0.3㎜이상 균열(1개소)가 조사되었다.
- 반원형 균열의 발생요인은 강재거푸집을 이용한 라이닝 시공시 기존타설 라이닝과 밀실성 및 연속성을 위해 거푸집 임의길이를 겹쳐 유압잭으로 밀착하게 되며, 이때 기존타설된 라이닝의 경화정도, 유압의 불균형과 이로 인한 라이닝 응력분포차이 등으로 발생한 것으로 판단된다. 현재 반원형 균열에 대한 박락위험은 없는 것으로 확인되었으나, 공용년수 경과 등에 의해 박락으로 진전될 우려가 있으므로 균열폭에 맞는 보수가 적정하다.

<표 3.15> 반원형 균열 손상집계

| 구분 | | 상태등급 "a~b" | | | | 상태등급 "c" | | 상태등급 "d" | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.1~0.2㎜ | | 0.3㎜ | | 0.4~0.5㎜ | | 0.5㎜ 초과 | |
| | | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 |
| 철근 배근 구간 | 천단 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 벽체+어깨 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 구분 | | 0.1~0.2㎜ | | 0.3㎜ | | 0.4~1.0㎜ | | 1.0㎜ 초과 | |
| | | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 |
| 무근 구간 | 천단 | 9.5/7 | 8.9/6 | - | 4.0/1 | - | - | - | - |
| | 벽체+어깨 | 1.7/3 | 1.7/3 | - | - | - | - | - | - |
| 합 계 | | 11.2/10 | 10.6/9 | - | 4.0/1 | - | - | - | - |

| | |
|---|---|
| 위 치 | • SPAN14 천단부 및 좌측어깨부 |
| 현 황 | • 반원형 균열(cw=0.2) |
| 원 인 | • 시공미흡, 거푸집 탈형 |
| 대 책 | • 표면처리 |

| | |
|---|---|
| 위 치 | • SPAN19 천단부 |
| 현 황 | • 반원형 균열(cw=0.3) |
| 원 인 | • 시공미흡 |
| 대 책 | • 주입보수 |

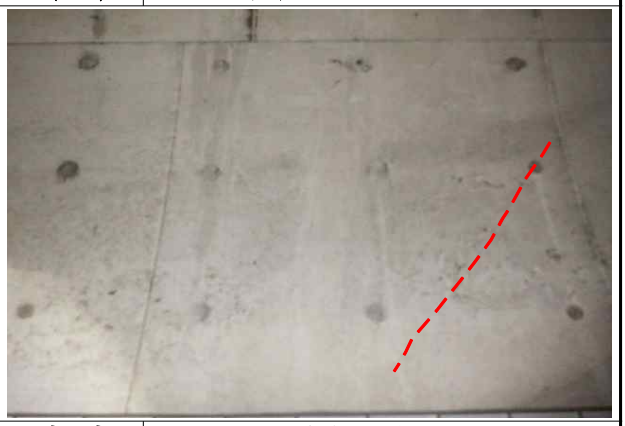
| | |  | |
|---|---|---|---|
| 위 치 | • SPAN23 천단부 | 위 치 | • SPAN37 천단부 |
| 현 황 | • 반원형 균열(cw=0.2) | 현 황 | • 반원형 균열(cw=0.2) |
| 원 인 | • 시공미흡 | 원 인 | • 시공미흡 |
| 대 책 | • 표면처리 | 대 책 | • 표면처리 |

4) 사방향균열

- 사방향 균열은 터널 진행방향에서 약 45°정도 기울어진 형태로 발생된 균열로 대부분의 균열이 상태등급 “a~b”에 해당하는 폭0.3㎜이하 균열(5개소)로 조사되었다.
- 외력에 의한 전단균열의 경우 균열폭이 크고 동일패턴의 균열이 반복적으로 발생하는데 비해 조사된 사방향 균열은 균열폭이 작고, SPAN별 산발적인 발생분포를 보이며, 어깨부 및 벽체부 하단에서 독립적으로 발생한 형태로 라이닝 연장대비 국부적으로 발생하여 전단균열이 아닌 재료적, 시공적 원인에 의해 발생된 것으로 판단된다.

<표 3.16> 사방향 균열 손상집계

| 구분 | | a~b 등급 | | | | c등급 | | d등급 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.1~0.2㎜ | | 0.3㎜ | | 0.4~0.5㎜ | | 0.5㎜ 초과 | |
| | | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 |
| 철근 배근 구간 | 천단 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 벽체+어깨 | 1.0/1 | 1.0/1 | - | - | - | - | - | - |
| 구분 | | 0.1~0.2㎜ | | 0.3㎜ | | 0.4~1.0㎜ | | 1.0㎜ 초과 | |
| | | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 |
| 무근 구간 | 천단 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 벽체+어깨 | 3.7/4 | 3.7/4 | - | - | - | - | - | - |
| 합 계 | | 4.7/5 | 4.7/5 | - | - | - | - | - | - |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| 위 치 | • SPAN12 좌측벽체부 | 위 치 | • SPAN16 좌측벽체부 |
| 현 황 | • 사방향 균열(cw=0.2) | 현 황 | • 사방향 균열(cw=0.2) |
| 원 인 | • 시공미흡 | 원 인 | • 시공미흡 |
| 대 책 | • 표면처리 | 대 책 | • 표면처리 |
| | |  | |
| 위 치 | • SPAN23 우측벽체부 | 위 치 | • SPAN44 우측벽체부 |
| 현 황 | • 사방향 균열(cw=0.2), 2EA | 현 황 | • 사방향 균열(cw=0.2) |
| 원 인 | • 시공미흡 | 원 인 | • 시공미흡 |
| 대 책 | • 표면처리 | 대 책 | • 표면처리 |

5) 망상균열

- 망상균열의 발생은 대부분 벽체부에서 폭 0.1㎜이하의 미세균열로 조사되었으며, 신규손상이 5개소 조사되어 기존 점검과 비교시 증가된 것으로 조사되었다.
- 망상균열은 라이닝 타설 중 다짐과 관련하여 발생하는 것이 일반적이며, 2차 라이닝 타설 시 과다짐 및 workability를 위한 W/C의 부배합은 다짐시 간극수의 이동이 발생되어 표면에 레이턴스를 유발시키며 라이닝 경화 초기의 균열을 발생시키고, 표면수의 영향으로 표면 백태가 발생하기도 한다. 또한, 과다짐과 더불어 재료적 수축, 공기단축을 위한 거푸집 조기탈형 등의 원인으로도 발생한다.
- 능안터널(하)에서 발생된 망상균열은 표면균열인 것으로 판단되나, 구조물의 내구성 확보차원의 표면보수가 필요한 것으로 판단된다.

<표 3.17> 망상균열 손상집계

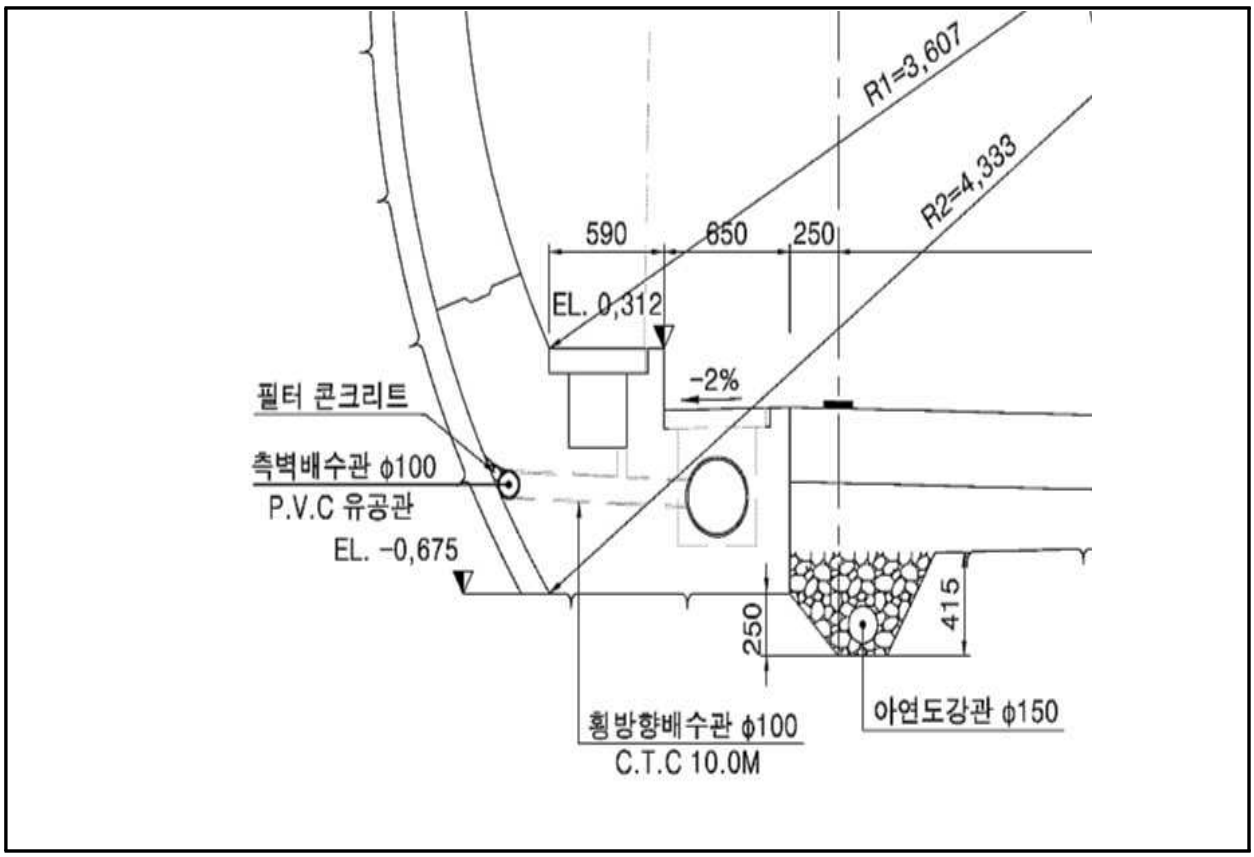
| 구분 | | 망상균열 | |
|---|---|---|---|
| | | 2021년 | 금회 |
| 철근구간 | 천단부 | - | - |
| | 벽체+어깨 | 6.55/4 | 16.15/5 |
| 무근구간 | 천단부 | - | - |
| | 벽체+어깨 | 35.1/8 | 56.70/12 |
| 합 계 | | 41.65/12 | 72.85/17 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 위 치 | • SPAN1 우측벽체부 | 위 치 | • SPAN10 우측벽체부 |
| 현 황 | • 망상균열(cw=0.1) | 현 황 | • 망상균열(cw=0.1) |
| 원 인 | • 시공미흡, 거푸집 탈형 등 | 원 인 | • 시공미흡, 거푸집 탈형 등 |
| 대 책 | • 표면처리 | 대 책 | • 표면처리 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 위 치 | • SPAN28 우측벽체부 | 위 치 | • SPAN43 좌측벽체부 |
| 현 황 | • 망상균열(cw=0.1) | 현 황 | • 망상균열(cw=0.1) |
| 원 인 | • 시공미흡, 거푸집 탈형 등 | 원 인 | • 시공미흡, 거푸집 탈형 등 |
| 대 책 | • 표면처리 | 대 책 | • 표면처리 |

## 나. 누수

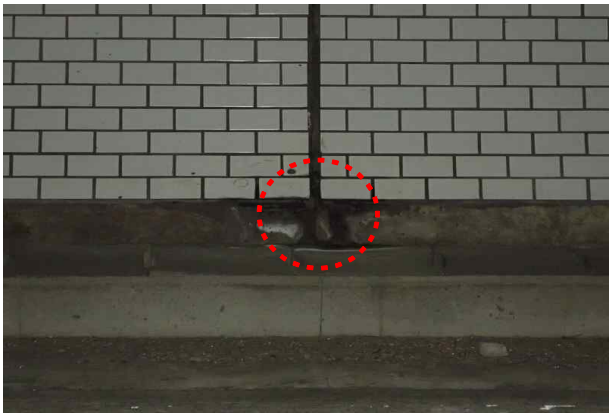
능안터널(하)은 배수터널이며, 콘크리트 라이닝의 배수 및 방수 상세도는 다음과 같다.




<그림 3.11> 콘크리트 라이닝 방수 상세도

1) 누수

- 콘크리트 라이닝에 발생된 누수는 전회차 정밀안전점검시 S3에서 발생되었으며, 금회 정밀안전점검시에는 손상의 진전은 없는 것으로 조사되었다.
- 누수 발생부위는 벽체 하단부이며 시공당시 배면 방수시트 접합이 다소 불량 부위가 라이닝 콘크리트 타설시 외적 요인에 의한 손상으로 우기시 지하수위 상승으로 인해 배면 침투수가 미세한 균열 및 공극부를 통해 유입된 것으로 판단된다. 조사시점시 손상부에 누수가 스며있는 상태로 확인되었으며, 콘크리트 내구성 확보차원의 보수조치가 필요하다. 누수는 건기시와 우기시 및 계절별로 차이가 발생할 수 있고 공용년수 경과에 따른 지수재의 노후화로 인해 누수가 추가발생가능성이 있으므로 향후 유지관리시 주기적인 점검을 통한 주의관찰이 필요한 것으로 판단된다.

| 2021년 정밀안전점검(Span 3~4) | 2023년 정밀안전점검(Span3~4) |
|---|---|
|  | |

<표 3.18> 누수 손상집계

| 누수발생 위치 | | 물량 (㎡/개소) | 발생년도 | 전회차 물량 (㎡/개소) |
|---|---|---|---|---|
| Span No. | 발생부위 | | | |
| 3~4 | 좌측벽체부 | 0.16/1 | 2021 | 0.16/1 |

## 다. 재질열화

재질열화는 들뜸, 박리, 박락, 파손, 재료분리, 백태, 철근노출 등 구조물의 내구성 저하와 연관성이 있는 열화현상으로 초기 시공품질과 공용년수의 증가에 따라 시설물의 상태평가에 큰 영향을 끼친다.

금회 점검 시 발생된 재질열화는 박리 및 박락, 백태 등이 있으며, 손상종류별 물량은 다음표와 같다.

<표 3.19> 재질열화 손상수량 집계

| 구분 | | 박락/박리 | | 백태 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 |
| 철근 배근 구간 | 천단 | - | - | - | - |
| | 벽체+어깨 | - | - | 0.04/2 | 0.04/2 |
| 구분 | | 2021 | 금회 | 2021 | 금회 |
| 무근 구간 | 천단 | 0.12/1 | 0.44/4 | - | - |
| | 벽체+어깨 | - | 0.06/1 | - | - |
| 합 계 | | 0.12/1 | 0.5/5 | 0.04/2 | 0.04/2 |

1) 박리/박락

▪ 금회 정밀안전점검시 조인트에서 박리/박락 7개소가 조사되었다. 시공시 강재거푸집 설치에 따른 Jack-up 과정에서의 지압력 발생과 거푸집 조기 탈영의 원인과 공용기간 동안의 건조수축에 따른 응력집중 등의 복합적인 요인으로 발생된 손상으로 판단된다. 박리 및 박락은 진행 여부에 따라 탈락 위험이 있어 주행차량의 사고의 원인이 될 수 있으므로 손상 부위 제거 후 단면보수를 실시하는 것이 바람직하다.

2) 백태

▪ S4 우측벽체부에서 백태 1개소가 조사되었으며, 시공당시 배면 방수시트 접합이 불량한 부위가 라이닝 콘크리트 타설시 외적 요인에 의한 손상으로 우기시 지하수위 상승으로 인해 배면 침투수가 미세한 균열 및 공극부를 통해 유입된 것으로 판단된다. 또한 점검시 백태 발생부 하부로 누수흔적이 관찰되지는 않았으나 우기시 지속적인 점검이 필요하며, 내구성 저하방지를 위한 표면처리가 필요하다.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 위 치 | • SPAN4 우측벽체부 | 위 치 | • SPAN7 좌측벽체부 |
| 현 황 | • 백태 | 현 황 | • 박리 |
| 원 인 | • 외기노출 및 시공미흡 | 원 인 | • 시공미흡, 거푸집 탈형 등 |
| 대 책 | • 표면처리 | 대 책 | • 단면보수 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| **위 치** | • SPAN25 천단부 | **위 치** | • SPAN35 천단부 |
| **현 황** | • 박락 | **현 황** | • 박락 |
| **원 인** | • 시공미흡, 거푸집 탈형 등 | **원 인** | • 시공미흡, 거푸집 탈형 등 |
| **대 책** | • 단면보수 | **대 책** | • 단면보수 |

## 라. 기타손상

능안터널(하)의 기타손상으로 타일탈락, 신축이음 실링재 탈락, 점검등 미점등 및 설치 불량 등의 기타손상은 발생되지 않은 건전한 상태로 조사되었다.

## 3.2.3. 터널 부속시설

### 가. 갱문

1) 개요

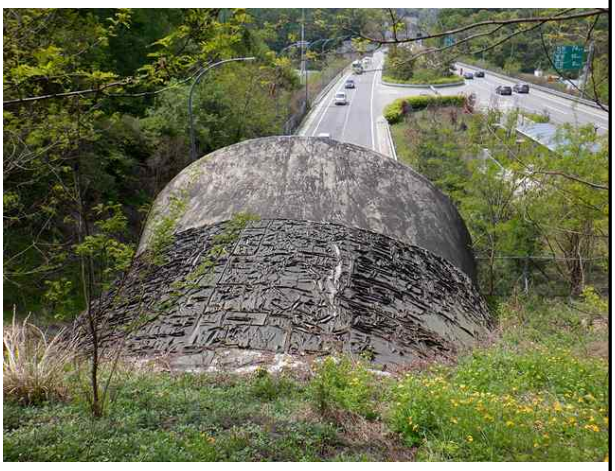
터널 외부의 시·종점부 갱문은 터널 본체와의 접속 구조물로서 일반적으로 토피고가 낮으며, 외부환경에 노출되어 있어 주변환경의 영향을 많이 받는 터널의 기본시설이다.

능안터널(상)의 갱문은 도로와 자연스럽게 접속 유도시키며 운전자에게 안정감을 제공하는 벨마우스 형식으로 시공되었다.

2) 손상원인 및 대책

시·종점 갱문 외관조사 결과, 약 3년이 경과한 현재 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

시점 갱구부 현황



종점 갱구부 현황

3) 기 점검 결과와의 비교

전회(2021년) 정밀안전점검 결과와 비교 시 신규손상은 조사되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.

<표 3.20> 갱문 기 점검 결과와 비교표

| 손상현황 | 단위 | 2021년 정밀안전점검 | | 금회(2023년) 정밀안전점검 | | 증감 | 향후대책 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | | |
| 상태양호 | - | - | - | - | - | - | 주의관찰 |

## 나. 공동구 및 배수시설

공동구는 전기, 통신시설 등이 설치되어있는 구조물로서 터널 외측 측벽에 설치되어있다. 배수시설은 터널내부의 외측으로 배수로가 설치되어 있으며, 터널내부로 유입되는 유입수를 시·종점부로 유도배수하는 배수식 터널이다.

공동구 전경

배수시설 전경

1) 손상원인 및 대책

공동구는 비구조적인 부재로써 균열의 발생원인은 온도변화 및 건조수축 등에 의한 균열로 판단되며, 균열폭은 0.2~0.3㎜로 조사되어 콘크리트 내구성 확보차원의 보수조치가 필요한 것으로 판단된다.

공동구파손 및 박리, 덮개파손은 모서리부에 발생되었으며 시공당시 및 공용중 외부충격에 의한 것으로 손상 정도에 따른 보수조치가 필요할 것으로 판단된다.

배수시설은 경미한 토사, 이물질퇴적은 있으나 배수기능에 영향을 미칠만한 수준의 퇴적이 발생하지 않은 상태로 조사되었으며, 상시 원활한 배수기능을 유지할 수 있도록 주기적인 정비가 필요하다.

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| 위 치 | • SPAN1 좌측공동구 | 위 치 | • SPAN8 우측공동구 |
| 현 황 | • 박리(표면) | 현 황 | • 공동구 파손(측면) |
| 원 인 | • 공용년수경과, 재설제에의한 염해 | 원 인 | • 외부충격 |
| 대 책 | • 단면보수 | 대 책 | • 주의관찰 |
| | | | |
| 위 치 | • SPAN25 우측공동구 | 위 치 | • SPAN31 우측공동구 |
| 현 황 | • 공동구 덮개파손 | 현 황 | • 균열(Cw=0.3) |
| 원 인 | • 수화열, 건조수축, 급속타설 등 | 원 인 | • 수화열, 건조수축, 급속타설 등 |
| 대 책 | • 주의관찰 | 대 책 | • 주의관찰 |

2) 손상물량

<표 3.21> 공동구 및 배수시설 물량표

| 구분 | 손상내용 | 단위 | 물량 |
|---|---|---|---|
| 공동구 및 배수시설 | 균열(cw=0.3mm미만) | m | 10.5 |
| | 균열(cw=0.3mm이상) | m | 2.6 |
| | 파손 | ㎡ | 0.38 |
| | 박리 | ㎡ | 9.0 |
| | 공동구 덮개 파손 | EA | 1.0 |

3) 기 점검 결과와의 비교

전회(2021년) 정밀안전점검 결과 비교 시 신규손상은 조사되었으며, 손상 정도에 따라 보수가 필요한 상태이다.

<표 3.22> 공동구 및 배수시설 기 점검 결과와 비교표

| 손상현황 | 단위 | 2021년 정밀안전점검 | | 금회(2023년) 정밀안전점검 | | 증감 | 향후대책 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | | |
| 균열(cw=0.3mm미만) | m | 10.5 | 26 | 10.5 | 26 | - | 표면처리 |
| 균열(cw=0.3mm이상) | m | 1.6 | 4 | 2.6 | 5 | ▲1.0 | 주입보수 |
| 파손 | ㎡ | 0.13 | 1 | 0.38 | 2 | ▲0.25 | 단면보수 |
| 박리 | ㎡ | - | - | 9.0 | 1 | ▲9.0 | 단면보수 |
| 공동구 덮개 파손 | EA | - | - | 1.0 | 1 | ▲1.0 | 덮개재설치 |

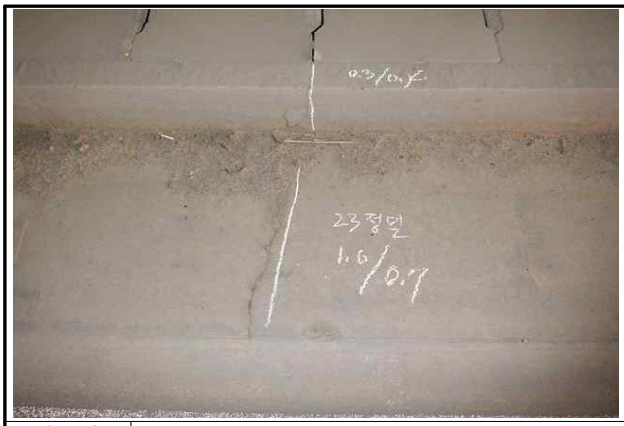
## 다. 포장부

능안터널(하)의 포장은 시멘트 콘크리트 포장(LMC)으로 총 연장 370.0m, 폭 9.98m의 편도2차로이다. 횡방향으로 가로 수축줄눈이 시공되어 있으며, 종방향 세로줄눈은 차선 경계부에 설치되어 있다. 시설물통합정보시스템(FMS) 확인결과 편경사 -2.0%, 종단경사 -5.0%이며, 2018년 준공이후 포장부 보수 이력은 없는 것으로 조사되었다.

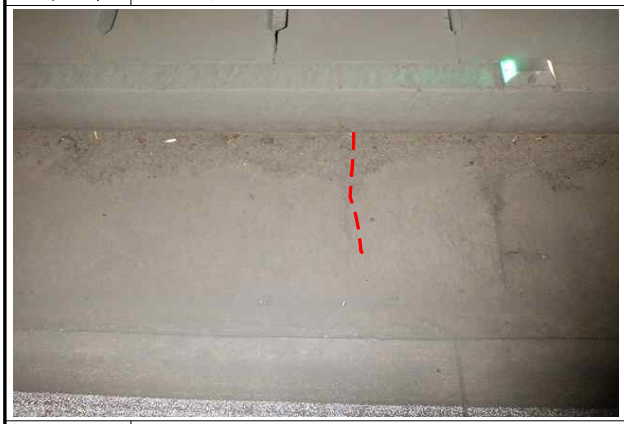
포장부 전경

1) 손상원인 및 대책

포장부에 포장균열, 포장 파손 등의 손상이 조사되었다. 발생된 손상은 시공초기 건조수축 및 공용중 중차량 반복하중에 의해 발생된 것으로 확인된다. 포장균열은 손상의 정도가 경미하여 주행차량의 사용성에는 문제가 없을 것으로 판단되며, SPAN28 구간 포장파손 손상은 방치 시 반복된 차량통행으로 인하여 손상이 진전될 수 있으므로 단면보수를 통한 보수가 필요한 것으로 판단된다.



| | | | |
|---|---|---|---|
| 위 치 | • SPAN26 포장부 | 위 치 | • SPAN28 포장부 |
| 현 황 | • 포장균열(L=0.7) | 현 황 | • 포장파손 |
| 원 인 | • 시공미흡 및 건조수축 | 원 인 | • 중차량 반복하중 |
| 대 책 | • 주의관찰 | 대 책 | • 단면보수 |



| | | | |
|---|---|---|---|
| 위 치 | • SPAN32 포장부 | 위 치 | • SPAN42 포장부 |
| 현 황 | • 포장균열(L=0.7) | 현 황 | • 포장균열(L=0.4) |
| 원 인 | • 시공미흡 및 건조수축 | 원 인 | • 시공미흡 및 건조수축 |
| 대 책 | • 주의관찰 | 대 책 | • 주의관찰 |

2) 손상물량

<표 3.23> 포장부 물량표

| 구분 | 손상내용 | 단위 | 물량 |
|---|---|---|---|
| 포장부 | 균열 | m | 4.1 |
| | 포장파손 | ㎡ | 0.04 |

3) 기 점검 결과와의 비교

전회(2021년) 정밀안전점검 결과 비교 시 신규손상이 조사되어 손상물량이 소폭 증가하였으며, 포장파손 손상에 대한 보수가 필요한 상태이다.

<표 3.24> 포장부 기 점검 결과와 비교표

| 손상현황 | 단위 | 2021년 정밀안전점검 | | 금회(2023년) 정밀안전점검 | | 증감 | 향후대책 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | | |
| 균열 | m | 2.1 | 3 | 4.1 | 5 | ▲2.0 | |
| 포장파손 | ㎡ | - | - | 0.04 | 1 | ▲0.04 | |

## 라. 부속시설

본 터널의 부속시설은 조명시설, 소화시설, 분기차단기함, CCTV 등으로 구성되어있으며 점검문 개폐후 외관조사 실시 결과 건전한 상태를 유지하고 있는 것으로 조사되었다.

| | | |
|---|---|---|
| | | |
| CCTV(영상정보처리기기) | 소화시설 | 조명시설 |

## 마. 공중이 이용하는 부위

1) 추락방지시설

본 터널은 추락방지시설에 대한 해당 사항은 없는 것으로 확인되었다.

2) 도로포장

가) 현황

능안터널(하) 교면포장은 대촌방향 총 연장 390.0m, 폭9.98m의 편도2차로 LMC (Latex Modified Concrete) 포장으로 시공되어 있는 상태이다.

나) 외관조사 결과

교면포장 주요손상으로는 포장균열, 소규모 파손이 조사되었으며, 점검일 현재 차량에 직접적인 파손을 유발하여 즉각적인 보수가 필요한 상태는 아니나, 차량 운전자에게 불쾌감을 유발할 수 있어 주의관찰 및 장기적인 내구성 확보를 위해 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.

3) 도로부 신축이음부

본 터널은 도로부 신축이음부에 대한 해당 사항은 없는 것으로 확인되었다.

4) 환기구 등의 덮개

- 본 터널의 환기구 등의 덮개 시설물은 없는 것으로 조사되었다.

## 3.2.4. 능안터널(하) 손상물량 집계표

### 가. 외관조사 물량 총괄표

<표 3.25> 손상물량 비교 집계표

| 위 치 | 손 상 내 용 | 손상 물량 | 단위 | 발생 개소 | 보수·보강 방안 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 라이닝 | 횡균열(cw=0.3mm미만) | 16.8 | m | 12 | 표면처리 | |
| | 종균열(cw=0.3mm미만) | 60.8 | m | 12 | 표면처리 | |
| | 사균열(cw=0.3mm미만) | 4.7 | m | 5 | 표면처리 | |
| | 반원형균열(cw=0.3mm미만) | 10.6 | m | 9 | 표면처리 | |
| | 횡균열(cw=0.3mm이상) | 15.5 | m | 5 | 주입보수 | |
| | 종균열(cw=0.3mm이상) | 5.0 | m | 1 | 주입보수 | |
| | 반원형균열(cw=0.3mm이상) | 4.0 | m | 1 | 주입보수 | |
| | 망상균열 | 72.85 | ㎡ | 17 | 표면처리 | |
| | 백태 | 0.04 | ㎡ | 2 | 표면처리 | |
| | 박리 및 박락 | 0.5 | ㎡ | 5 | 단면보수 | |
| 공동구 | 측면 균열(cw=0.3mm미만) | 10.5 | m | 26 | 표면처리 | |
| | 측면 균열(cw=0.3mm이상) | 2.6 | m | 5 | 주입보수 | |
| | 파손 | 0.38 | ㎡ | 2 | 단면보수 | |
| | 박리 | 9.0 | ㎡ | 1 | 단면보수 | |
| | 공동구 덮개 파손 | 1.0 | EA | 1 | 덮개재설치 | |
| 포장 | 포장 균열 | 4.1 | m | 5 | 주의관찰 | |
| | 포장 파손 | 0.04 | ㎡ | 1 | 단면보수 | |
| 사면 | 배수로 이격 | 0.07 | m | 1 | 주의관찰 | |

## 나. 기 점검 결과와의 손상물량 비교표

<표 3.26> 기 점검 손상물량 비교표

| 구 분 | 손 상 내 용 | 손 상 물 량 | | | | 단 위 | 증 감 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2021년 정밀안전점검 | | 2023년 정밀안전점검 | | | |
| | | 물량 | 개소 | 물량 | 개소 | | |
| 라이닝 | 횡균열(cw=0.3mm미만) | 88.0 | 37 | 16.8 | 12 | m | ▲ 4.9 |
| | 종균열(cw=0.3mm미만) | | | 60.8 | 12 | | |
| | 사균열(cw=0.3mm미만) | | | 4.7 | 5 | | |
| | 반원형균열(cw=0.3mm미만) | | | 10.6 | 9 | | |
| | 횡균열(cw=0.3mm이상) | - | - | 15.5 | 5 | m | ▲ 24.5 |
| | 종균열(cw=0.3mm이상) | | | 5.0 | 1 | | |
| | 반원형균열(cw=0.3mm이상) | | | 4.0 | 1 | | |
| | 망상균열 | 41.65 | 12 | 72.85 | 17 | ㎡ | ▲ 31.2 |
| | 박리 및 박락 | 0.12 | 1 | 0.5 | 5 | ㎡ | ▲ 0.42 |
| | 백태 | 0.04 | 2 | 0.04 | 2 | ㎡ | - |
| | 누수 | 0.16 | 1 | - | - | ㎡ | ▼ 0.16 |
| 공동구 | 측면 균열(cw=0.3mm미만) | 10.5 | 26 | 10.5 | 26 | m | - |
| | 측면 균열(cw=0.3mm이상) | 1.6 | 4 | 2.6 | 5 | m | ▲ 1.0 |
| | 파손 | 0.13 | 1 | 0.38 | 2 | ㎡ | ▲ 0.25 |
| | 박리 | - | - | 9.0 | 1 | ㎡ | ▲ 9.0 |
| | 공동구 덮개 파손 | - | - | 1.0 | 1 | EA | ▲ 1.0 |
| 포장부 | 균열 | 2.1 | 3 | 4.1 | 5 | m | ▲ 2.0 |
| | 포장파손 | - | - | 0.04 | 1 | ㎡ | ▲ 0.04 |
| 사면 | 배수로 이격 | - | - | 0.07 | 1 | m | ▲ 0.07 |

### 3.2.5. 외관조사 결과 분석

<표 3.27> 외관조사 결과 분석(1)

| 구 분 | 외관조사 결과 분석 |
|---|---|
| 라이닝 | ▪ 종방향 균열은 Span내에서 한정되어 발생하였고 특히 철근구간에서는 c등급에 해당하는 0.3㎜초과 균열은 조사되지 않았으며, 균열단차 또한 발생하지 않은 것으로 조사되었다. 전회차 정밀안전점검시 조사된 균열의 진전성 여부를 확인한 결과 대부분 균열의 진전성은 조사되지 않아 종방향 균열의 발생원인은 시공초기 수화열 및 건조수축과 급속타설 등이 복합적으로 작용한 시공초기 균열로 판단됨.<br>▪ 횡방향 균열 발생현황 분석결과 대부분 벽체 및 어깨부에 발생한 것으로 조사되었으며, 대부분 벽체하단부에서 수직형태로 일부는 어깨부까지 발생되었고 균열의 방향성은 벽체 하단부에서 상단부로 발생된 것으로 조사되었다. 따라서 균열의 발생원인은 시공초기 수화열에 의한 외부구속응력(선 타설된 콘크리트)과 건조수축 등이 복합적으로 작용된 비구조적 균열로 판단되며, 일부개소에서 발생된 보수부 재균열은 보수재 노후화 및 시공미흡으로 인해 발생된 것으로 추정됨.<br>▪ 반원형 균열의 발생요인은 강재거푸집을 이용한 라이닝 시공시 기존타설 라이닝과 밀실성 및 연속성을 위해 거푸집 임의길이를 겹쳐 유압잭으로 밀착하게 되며, 이때 기존타설된 라이닝의 경화정도, 유압의 불균형과 이로 인한 라이닝 응력분포차이 등으로 발생한 것으로 판단된다. 현재 반원형 균열에 대한 박락위험은 없는 것으로 확인되었으나, 공용년수 경과 등에 의해 박락으로 진전될 우려가 있으므로 균열폭에 맞는 보수가 적정함.<br>▪ 사방향 균열은 외력에 의한 전단균열의 경우 균열폭이 크고 동일패턴의 균열이 반복적으로 발생하는데 비해 조사된 사방향 균열은 균열폭이 작고, SPAN별 산발적인 발생분포를 보이며, 어깨부 및 벽체부 하단에서 독립적으로 발생한 형태로 라이닝 연장대비 국부적으로 발생하여 전단균열이 아닌 재료적, 시공적 원인에 의해 발생된 것으로 판단됨.<br>▪ 능안터널(하)에서 발생된 망상균열은 표면에 발생된 균열인 것으로 판단되나, 구조물의 내구성 확보차원의 표면보수가 필요함. |

<표 3.28> 외관조사 결과 분석(2)

| 구 분 | | 외관조사 결과 분석 |
|---|---|---|
| 라이닝 | | ▪ 누수는 벽체 하단부에서 시공당시 배면 방수시트 접합이 다소 불량 부위가 라이닝 콘크리트 타설시 외적 요인에 의한 손상으로 우기시 지하수위 상승으로 인해 배면 침투수가 미세한 균열 및 공극부를 통해 유입된 것으로 판단된다. 조사시점시 손상부에 누수가 스며있는 상태로 확인되었으며, 콘크리트 내구성 확보차원의 보수조치가 필요하다. 누수는 건기시와 우기시 및 계절별로 차이가 발생할 수 있고 공용년수 경과에 따른 지수재의 노후화로 인해 누수가 추가발생가능성이 있으므로 향후 유지관리시 주기적인 점검을 통한 주의관찰이 필요한 것으로 판단됨.<br>▪ 조인트에서 박리/박락 7개소가 조사되었다. 시공시 강재거푸집 설치에 따른 Jack-up 과정에서의 지압력 발생과 거푸집 조기 탈영의 원인과 공용기간 동안의 건조수축에 따른 응력집중 등의 복합적인 요인으로 발생된 손상으로 판단된다. 박리 및 박락은 진행 여부에 따라 탈락 위험이 있어 주행차량의 사고의 원인이 될 수 있으므로 손상 부위 제거 후 단면보수가 필요.<br>▪ S4 우측벽체부에서 백태 1개소가 조사되었으며, 시공당시 배면 방수시트 접합이 불량한 부위가 라이닝 콘크리트 타설시 외적 요인에 의한 손상으로 우기시 지하수위 상승으로 인해 배면 침투수가 미세한 균열 및 공극부를 통해 유입된 것으로 판단된다. 또한 점검시 백태 발생부 하부로 누수흔적이 관찰되지는 않았으나 우기시 지속적인 점검이 필요하며, 내구성 저하방지를 위한 표면처리가 필요.<br>▪ 능안터널(하)의 기타손상으로 타일탈락, 신축이음 실링재 탈락, 점검등 미점등 및 설치불량 등의 기타손상은 발생되지 않은 건전한 상태로 조사됨. |
| 사면 | | ▪ 표토층이 형성되어 암반은 비노출 상태였으며, 표토층의 상태는 적절한 녹생토 시공으로 초, 목류 등 식생이 활발한 상태로 관찰되었으며 지속적인 주의관찰이 적정함. |
| 배수계통 | | ▪ 산마루 측구 배수로에 일부 낙엽 퇴적과 이격 1개소가 조사되었다. 해당 손상은 측구 시점부에서 발생하였으며 배수기능에는 문제가 없는 것으로 확인되어 보수보다는 점검시 주의관찰이 필요할 것으로 판단됨. |
| 부대시설 | 갱문 | ▪ 준공후 약 5년이 경과한 현재 시·종점측 갱문에서 발생된 손상은 없는 것으로 조사됨. |

<표 3.29> 외관조사 결과 분석(3)

| 구 분 | | 외관조사 결과 분석 |
|---|---|---|
| 부대 시설 | 공동구 및 배수시설 | ▪ 공동구는 비구조적인 부재로써 균열의 발생원인은 온도변화 및 건조수축 등에 의한 균열로 판단되며, 균열폭은 0.2~0.3㎜로 조사되어 콘크리트 내구성 확보차원의 보수조치가 필요한 것으로 판단됨.<br>▪ 공동구파손 및 박리, 덮개파손은 모서리부에 발생되었으며 시공당시 및 공용중 외부충격에 의한 것으로 손상 정도에 따른 보수조치가 필요할 것으로 판단됨.<br>▪ 배수시설은 경미한 토사, 이물질퇴적은 있으나 배수기능에 영향을 미칠만한 수준의 퇴적이 발생하지 않은 상태로 조사되었으며, 상시 원활한 배수기능을 유지할 수 있도록 주기적인 정비가 필요. |
| | 포장부 | ▪ 포장부에 포장균열, 포장 파손 등의 손상이 조사되었다. 발생된 손상은 시공초기 건조수축 및 공용중 중차량 반복하중에 의해 발생된 것으로 확인된다. 포장균열은 손상의 정도가 경미하여 주행차량의 사용성에는 문제가 없을 것으로 판단되며, SPAN28 구간 포장파손 손상은 방치 시 반복된 차량통행으로 인하여 손상이 진전될 수 있으므로 단면보수를 통한 보수가 필요. |
| | 부속 시설 | ▪ 터널의 부속시설은 조명시설, 소화시설, 분기차단기함, CCTV 등으로 구성되어있으며 점검문 개폐후 외관조사 실시 결과 건전한 상태를 유지하고 있는 것으로 조사됨. |
| 공중이 이용하는 부위 | | ▪ 추락방지시설 : 본 터널은 추락방지시설에 대한 해당 사항은 없는 것으로 확인됨.<br>▪ 도로포장 : 능안터널(하) 교면포장은 대촌방향 총 연장 390.0m, 폭 9.98m의 편도2차로 LMC (Latex Modified Concrete) 포장으로 시공됨. 교면포장 주요손상으로는 포장균열, 소규모 파손이 조사되었으며, 점검일 현재 차량에 직접적인 파손을 유발하여 즉각적인 보수가 필요한 상태는 아니나, 차량 운전자에게 불쾌감을 유발할 수 있어 주의관찰 및 장기적인 내구성 확보를 위해 단면보수가 필요함.<br>▪ 도로부 신축이음부 : 본 터널은 도로부 신축이음부에 대한 해당 사항은 없는 것으로 확인됨.<br>▪ 환기구 등의 덮개 : 본 터널의 환기구 등의 덮개 시설물은 없는 것으로 조사됨. |

### 3.2.6. 기 점검 결과 비교 분석

금회 정밀안전점검 대상 능안터널(하)은 본선라이닝, 피난연락갱, 공동구, 배수시설, 포장부, 부착시설 등을 최근에 실시한 2021년 정밀안전점검 외관조사 결과와 비교·검토를 수행하였다.

본 터널에 대한 정밀안전점검 결과를 비교·분석한 결과, 금회 점검 시 상세조사 및 공용기간 증가, 차량통행, 외부환경 등에 의해 신규로 라이닝 균열, 망상균열, 재질열화, 공동구 균열, 공동구 파손, 공동구 박리, 덮개파손, 포장균열, 포장 파손, 산마루 측구 배수로 이격 등의 손상물량이 추가로 조사되었다. 기 발생된 손상은 대부분 진전이 없으며, 구조적인 문제는 없을 것으로 판단되나, 보수, 재설치 등을 실시하는 것이 추가손상 방지 및 내구성 확보를 위해 바람직할 것으로 판단된다.

# 3.3. 재료시험 및 측정

## 3.3.1. 개 요

터널의 재료시험은 구조물에 열화손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부를 판정하며, 아직 열화손상이 없거나 경미한 구조물은 재료시험에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

본 과업의 재료시험은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침_터널편(2019.09, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였다.

본 과업에서 터널의 재료시험을 위해 콘크리트 강도시험(반발경도시험, 초음파전달속도시험), 철근탐사시험, 탄산화깊이 측정, 염화물함유량시험, 균열깊이 조사, 철근부식도 측정, 단면측량 등을 실시하였으며, 각 부재별 재료시험 현황은 다음과 같다.

<표 3.30> 재료시험 및 측정 내용

| 구분 | 시험 방법 | 내용 | 사용장비 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 콘크리트 강도시험 | 반발경도시험 | 콘크리트 표면 경도 측정 | 슈미트 해머(NR형) | 기본과업 |
| 탄산화 깊이 측정 | 약액검사 | 탄산화 진행 깊이 측정 | 페놀프탈레인 용액, 버니어 캘리퍼스 | |

### 가. 재료시험 및 측정항목 기준

<표 3.31> 재료시험 및 측정항목 기준

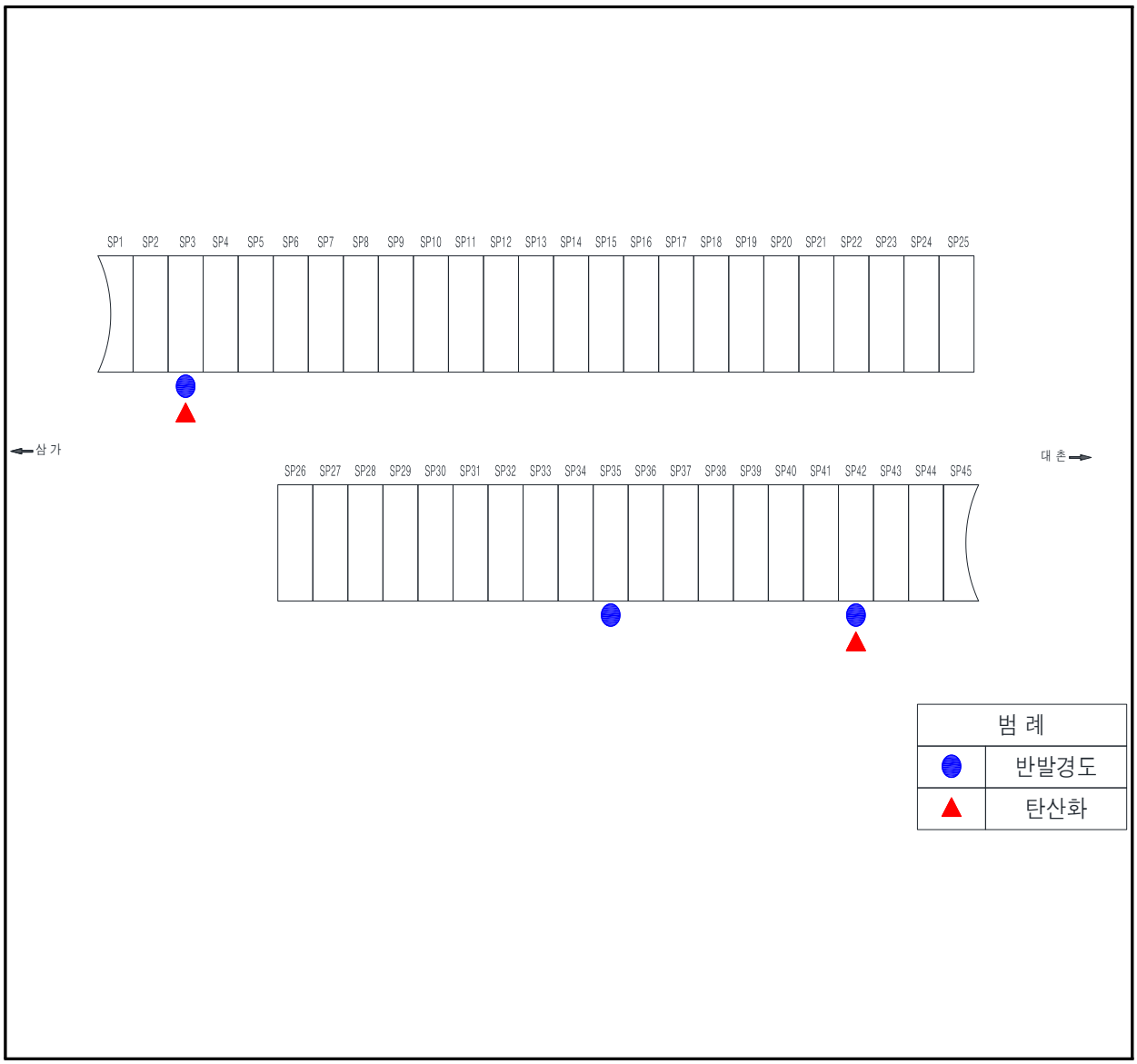
| 구 분 | 세부지침 기준 산출수량(2022.12) | 비 고 |
|---|---|---|
| | 기준수량 | |
| 반발경도시험 | · 총수량 = (총연장 ÷ 300m) 개소 | · 책임기술자가 상향조정 가능 |
| 탄산화 깊이 측정 | · 철근콘크리트 구조물<br>- 총연장 1,000m미만 : 2개소<br>- 총연장 1,000m이상<br>: 최소2개소 + 1,000m당 1개소 | · 책임기술자가 상향조정 가능 |

## 나. 재료시험 수량

<표 3.32> 재료시험 수량

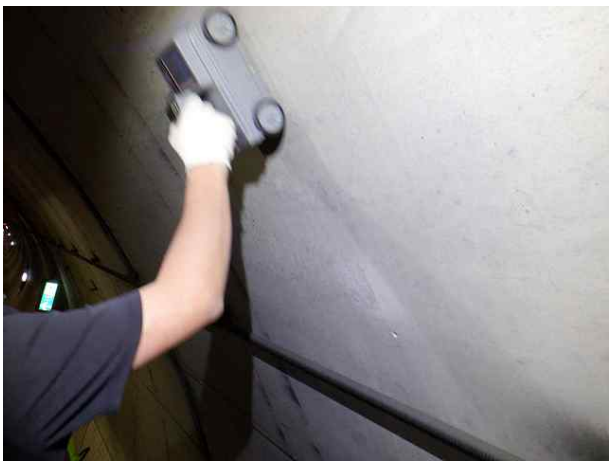
| 연장 (m) | 세부지침 기준 산출수량 | | 금회 시험 수량 | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 반발경도 | 탄산화 깊이 측정 | 반발경도 | 탄산화 깊이 측정 | |
| 390.0m | 2개소 | 2개소 | 2개소 이상 | 2개소 이상 | |

## 다. 시험 위치도




<그림 3.12> 재료시험 및 측정 위치도

## 라. 측정 사진

| | |
|---|---|
| | |
| 표면정리 및 이물질제거 | 반발경도시험 |
| |  |
| 철근탐사(주철근 측정) | 철근탐사(배력철근 측정) |
| | |
| 탄산화 깊이 측정을 위한 드릴링 | 탄산화 깊이 측정 |

<그림 3.13> 재료시험 측정전경

## 3.3.2. 콘크리트 강도시험(반발경도시험)

### 가. 개 요

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부 고시)』에 따라 시설물 콘크리트 반발경도 시험은 적정한 방법으로 시행하고 이에 대한 시험보고서를 작성하도록 관리주체에서 요청하여 면밀하게 조사를 시행하였다.

이에 반발경도 측정은 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등의 부유물을 제거 후 시험을 실시한 뒤 타격방향과 표면의 건습상태 및 재령 등을 고려한 보정을 통해 콘크리트 강도를 추정하고, 시험보고서를 작성하여 부록에 수록하였다.

<표 3.33> 반발경도시험 주요내용(1)

| | |
|---|---|
| 개 요 | ■ 콘크리트 표면의 반발경도를 측정하여, 콘크리트의 압축강도를 추정하는 검사방법<br>■ 슈미트해머는 경화된 콘크리트 표면을 타격시, 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도( $f_c'$ )와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 함 |
| 시험 방법 | ■ 반발경도 측정은 선정된 부위에 그라인딩 작업으로 표면 정리를 한 다음 타격점 상호간의 종·횡 간격을 30㎜기준으로 그어 직교되는 부위에 20점 이상을 타격하여 반발경도 값의 산술 평균값을 구하고, 각 반발경도 값이 평균값의 ±20%를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도를 결정<br>■ 보,기둥의 모서리에서는 최소 30~60㎜ 이격하여 측정하고, 측정부재의 최소두께는 반발도의 영향을 고려하여 100㎜이상을 원칙으로 함<br>■ 측정치는 원칙적으로 정수 값을 읽고, 표면 건조상태의 부위를 선정, 측정하여 건습에 따른 보정, 압축응력에 따른 반발도의 보정과 타격 방향에 대한 보정 및 재령에 따른 보정을 적용함<br><br>측정기의 기종 선정<br>↓<br>점검기에 의한 정도확인<br>↓<br>측정 장소의 확인, 요철제거<br>↓<br>Marker 등에 의한 측정점의 표시<br>↓<br>측정, 20점 이상의 평균<br>↓<br>타격 방향, 습윤 및 재령의 보정<br>↓<br>강도추정식에 의한 압축강도 산출<br>↓<br>압축강도의 추정<br><반발경도법에 의한 강도추정 흐름도> |

<표 3.34> 반발경도시험 주요내용(2)

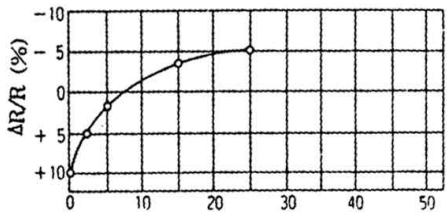
**보정 방법**

■ 타격방향에 따른 보정(ΔR1)

| 반발경도 (R) | 수평과 이루는 각도 +90° | +45° | -45° | -90° | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | - | - | +2.4 | +3.2 | 상향수직 : +90° 하향수직 : -90° |
| 20 | -5.4 | -3.5 | +2.5 | +3.4 | |
| 30 | -4.7 | -3.1 | +2.3 | +3.1 | |
| 40 | -3.9 | -2.6 | +2.0 | +2.7 | |
| 50 | -3.1 | -2.1 | +1.6 | +2.2 | |
| 60 | -2.3 | -1.6 | +1.3 | +1.7 | |

■ 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정(ΔR2)

압축응력 0.1㎫인 경우 ΔR2 = -0.015R, 0.25㎫인 경우 ΔR2 = -0.05R 정도임




<압축응력에 따른 반발경도 보정곡선>

■ 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정(ΔR3)

기건상태 : ΔR3 = 0, 습윤상태 ΔR3 = +5

■ 콘크리트 재령에 따른 보정(α)

| 구분 | 7일 | 14일 | 21일 | 28일 | 100일 | 500일 | 750일 | 1000일 | 2000일 | 3000일 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 재령(α) | 1.72 | 1.36 | 1.12 | 1.00 | 0.78 | 0.67 | 0.66 | 0.65 | 0.64 | 0.63 |

■ Ro = R + ΔR (⇒ ΔR = ΔR1 + ΔR2 + ΔR3)

여기서, ΔR1 : 타격방향에 따른 보정값

ΔR2 : 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정값

ΔR3 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

**압축강도 추정식**

■ 방법 1 : Fc = -18.0+1.27×Ro (MPa) ⇒ 일본 재료학회 추정식

■ 방법 2 : Fc = (7.3Ro + 100)×0.098 (MPa) ⇒ 일본건축학회 추정식

■ 방법 1 : Fc= 2.304Ro - 38.80 (MPa) ⇒ 권영웅 외 강도계산식

■ 방법 2 : Fc= (15.2Ro - 112.8)×0.098 (MPa) ⇒ 과학기술부 강도계산식

주1) 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조

주2) 콘크리트 내구성 평가절차 수립(국토교통부, 시설안전기술공단, 1999.12) 참조

주3) 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부, 국토안전관리원, 2022.12) 참조

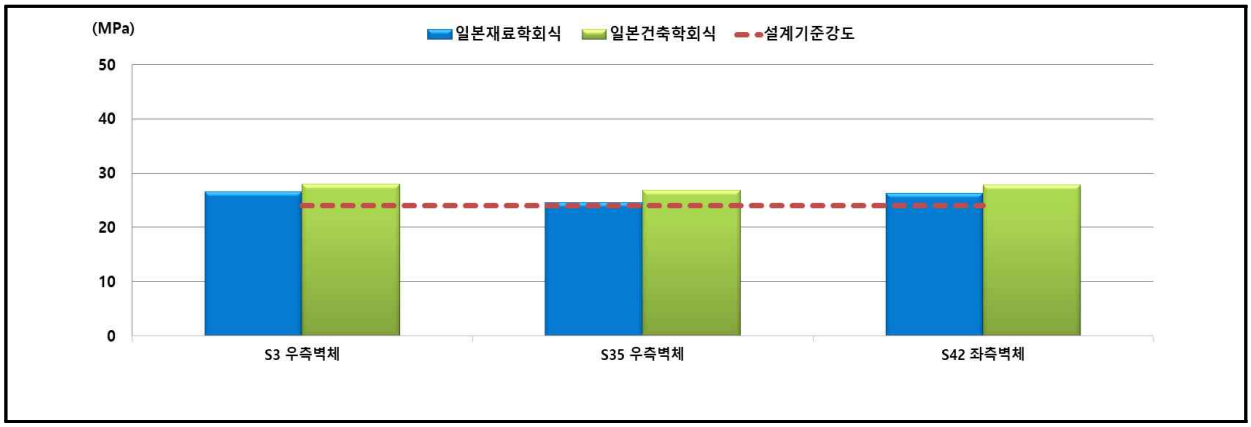
## 나. 시험결과

<표 3.35> 콘크리트 강도시험 결과

| 구분 | 시험위치 | 반발경도 (Ro) | 재령 계수 | 콘크리트 강도(MPa) 일본 재료학회 | 일본 건축학회 | 최소강도 | 설계강도 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 라이닝 | S3 우측벽체 | 46.5 | 0.65 | 26.6 | 28.0 | 26.6 | 24.0 |
| | S35 우측벽체 | 44.0 | 0.65 | 24.6 | 26.8 | 24.6 | 24.0 |
| | S42 좌측벽체 | 46.1 | 0.65 | 26.3 | 27.8 | 26.3 | 24.0 |

## 다. 시험결과 분석

콘크리트 강도시험 결과, 능안터널(하)의 최소강도는 24.6~26.6㎫으로 설계기준강도(24.0㎫)를 모두 상회하는 것으로 분석되어 콘크리트강도는 양호한 상태인 것으로 분석되었다.




<그림 3.14> 콘크리트 강도시험 결과

## 라. 기 점검결과와의 비교

기 점검 이후 추가손상 발생과 이로 인한 콘크리트 강도저하 여부를 확인을 위해 2021년 정밀안전점검과 금회 정밀안전점검 결과를 각 구조물별로 비교 분석한 결과, 일부 강도의 차이가 있는 상태로 이는 측정위치의 차이에 의한 것으로 판단되며, 기 점검, 금회 결과 모두 설계기준강도(24.0㎫)를 상회하는 것으로 확인되어 시설물의 상태는 양호한 것으로 판단된다.

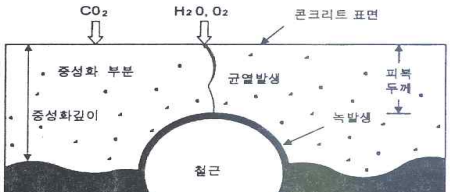
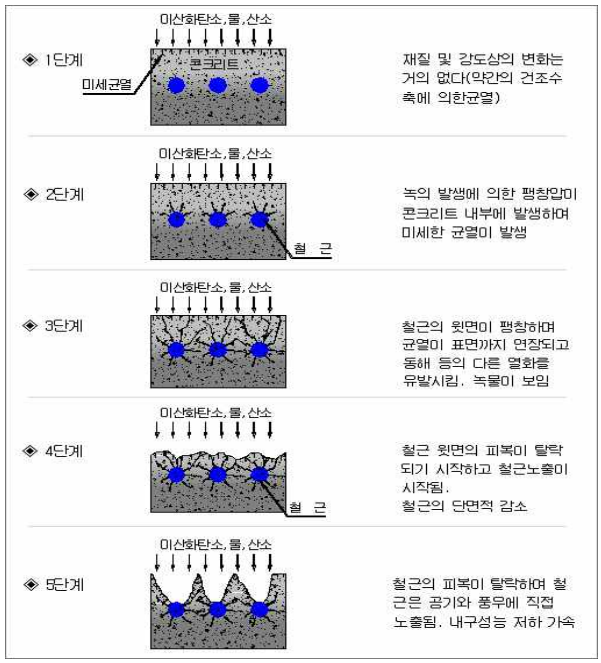
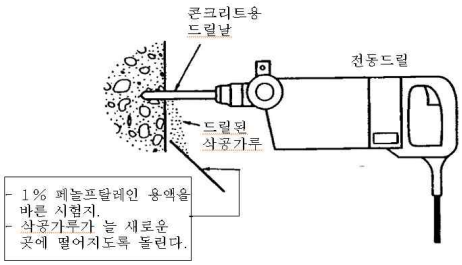
<표 3.36> 기 점검 및 금회 콘크리트 강도시험 결과 비교

| 구분 | 최소강도(㎫) | | 설계기준강도 (㎫) |
|---|---|---|---|
| | 기 정밀안전점검 (2021년) | 금회 정밀안전점검 (2023년) | |
| 철근 콘크리트 라이닝 | 26.0~26.4 | 26.3~26.6 | 24.0 |
| 무근 콘크리트 라이닝 | - | 24.6 | 24.0 |

## 3.3.3. 탄산화 깊이 측정

### 가. 개 요

<표 3.37> 탄산화 깊이 측정 주요내용

<table>
<tr><td>개 요</td><td>■ 경화콘크리트는 표면에서 서서히 탄산화하여 pH값은 12~13에서 8~10이하로 감소한다. 이 과정을 콘크리트의 탄산화라고 한다.<br>$CaO + H^2O \rightarrow Ca(OH)^2$<br>$Ca(OH)^2 + CO^2 \rightarrow CaCO^3 + H^2O$<br>  <br><br>■ 콘크리트는 탄산화에 의해 직접적으로 성능이 저하되는 것은 아니며, 단지 탄산화가 문제가 되는 이유는 탄산화가 피복두께를 넘어서 철근의 표면에 도달하게 되면 철근표면을 감싸고 있던 부동태 피막이 파괴되면서 철근표면에 부식이 시작되기 때문이다.<br>  <br><br></td></tr>
<tr><td>측정 방법</td><td>  <br><br>■ 코어 채취 후 페놀프탈레인 1% 용액을 채취된 코어의 표면부에 분무하여 탄산화 깊이를 측정하는 방법<br>■ 코어를 채취하지 못한 경우, 드릴링에 의해 발생되는 콘크리트 가루가 페놀프탈레인용액을 적신 원형시험지에 떨어져 변색되는 시점을 탄산화깊이로 정하는 방법</td></tr>
<tr><td>시험순서</td><td>① 탄산화시험 위치 선정<br>② 페놀프탈레인 1% 용액을 적신 원형시험지 준비<br>③ 페놀프탈레인용액을 적신 원형시험지를 드릴 밑에 두고 드릴링 시작<br>④ 원형시험지가 변색되는 시점에 드릴링 멈춤<br>⑤ 드릴링된 깊이(㎜) 측정, 평균값 선정</td></tr>
<tr><td>평가기준</td><td>
<table>
<tr><th>결과<br>구분</th><th>a</th><th>b</th><th>c</th><th>d</th><th>e</th></tr>
<tr><td>탄산화 잔여 깊이</td><td>30㎜ 이상</td><td>10 ㎜ 이상 ~ 30㎜ 미만</td><td>0 ㎜ 이상 ~ 10㎜ 미만</td><td>0㎜ 미만</td><td>-</td></tr>
<tr><td>철근부식의 가능성</td><td>탄산화에 의한 부식발생 우려 없음</td><td>향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음</td><td>경우에 따라서 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음</td><td>철근부식 발생</td><td>-</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

주1) 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조

주2) 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부, 국토안전관리원, 2022.12) 참조

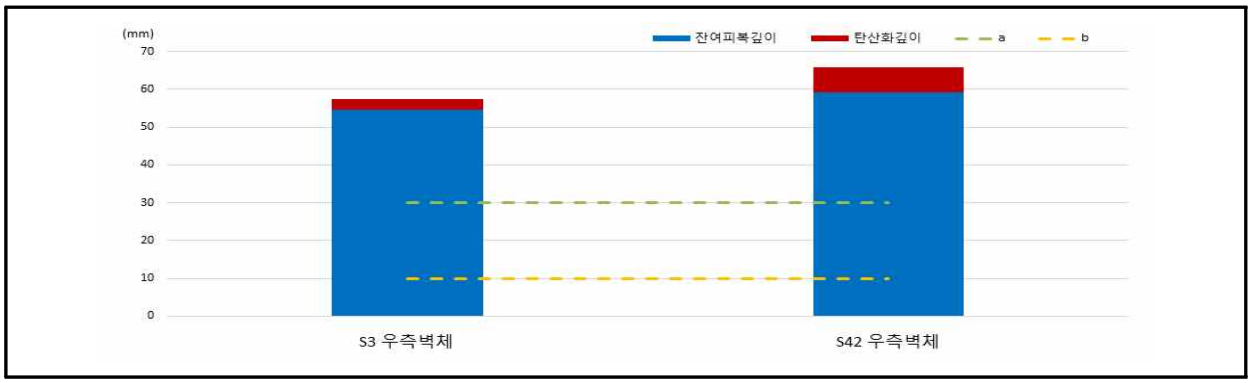
## 나. 측정결과

<표 3.38> 탄산화 깊이 측정 결과

| 시험위치 | 탄산화깊이 (㎜) | 피복두께(㎜) | | 평가 결과 | 탄산화속도 계수 | 잔존 수명 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 실측 | 잔여 | | | |
| S3 우측벽체 | 2.83 | 57.3 | 54.5 | a | 1.266 | 100년 이상 |
| S42 좌측벽체 | 6.70 | 65.9 | 59.2 | a | 2.996 | 100년 이상 |

## 다. 측정결과 분석

본 터널 시설물의 탄산화 깊이 측정결과, 2.83~6.7㎜로 각각 측정되었으며, 탄산화 진행 정도에 따른 잔여깊이는 30.0㎜이상으로, 탄산화에 의한 철근부식 등의 내구성 저하가 없는 양호한 상태인 a로 평가되었다.




<그림 3.15> 탄산화깊이 측정 결과

## 라. 기 점검 비교분석

기 점검(2021년)과 금회 정밀안전점검 결과를 비교·분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정 결과 값에 다소 차이가 있으나, 모든 측정 개소에서 상태평가 결과 “a”의 상태로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 가능성은 적은 것으로 분석되었다.

<표 3.39> 기 점검 및 금회 탄산화 잔여깊이 결과 비교

| 구분 | 기 정밀안전점검 잔여깊이(2021년) | | | 금회 정밀안전점검 잔여깊이(2023년) | | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 탄산화깊이(㎜) | 잔여깊이(㎜) | 평가 경과 | 탄산화깊이(㎜) | 잔여깊이(㎜) | 평가 경과 | |
| 능안터널 (하) | 2.0~3.5 | 47.0~60.5 | a | 2.83~6.7 | 54.5~59.2 | a | |

## 3.3.4. 재료시험 결과 분석

<표 3.40> 재료시험 및 측정 결과 분석

<table>
<tr><th>구분</th><th>시험결과</th><th>결과분석</th></tr>
<tr><td>콘크리트 강도시험 (MPa)</td><td>
<table>
<tr><th>위치</th><th>반발경도시험 (MPa)</th><th>설계강도 (MPa)</th></tr>
<tr><td>철근 콘크리트 라이닝</td><td>26.3~26.6</td><td>24.0</td></tr>
<tr><td>무근 콘크리트 라이닝</td><td>24.6</td><td>24.0</td></tr>
</table>
</td><td>■ 반발경도시험에 의한 콘크리트강도 추정결과, 모두 설계기준강도를 상회함</td></tr>
<tr><td>탄산화 깊 이 측 정 (㎜)</td><td>
<table>
<tr><th>구분</th><th>탄산화깊이 (㎜)</th><th>잔여깊이 (㎜)</th><th>평가</th></tr>
<tr><td>철근 콘크리트 라이닝</td><td>2.83~6.70</td><td>54.5~59.2</td><td>a</td></tr>
</table>
</td><td>■ 탄산화 깊이 측정에 의한 잔여피복두께 평가결과, 상부 및 하부구조 모두 ‘a’로 평가됨</td></tr>
</table>