

터널 구조물의 상태평가 기준에 관한 연구

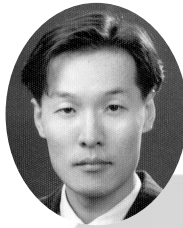
A Study on Standard for State Assessment of Tunnel Structures



오혁희*
Oh, Hyuk-Hee



신용석*²
Shin, Yung-Suk



이종우*³
Lee, Jong-Woo



박남서*⁴
Park, Nam-Seo



김영근*⁵
Kim, Young-Geun

Abstract

Recently, as tunnel structures are getting older and decrepit, many tunnel inspections are carried out for evaluating the tunnel state and safety. But, because there is no exact standard for tunnel state and safety, depending on subjective decision, the new standard to assess the tunnel state is required. The existing standard including mainly the assessment of the state of tunnel lining is not considered the characteristics of tunnel as underground structures. Also, the item of assessment and process of grading and classifying the state of tunnel is not objective and systemetic. In this study, new standard for assessment of tunnel state is presented for improving the problems in evaluating the tunnel state and safety. In the new standard, the new items of assessment including geotechnical condition were selected and graded, the process in classifying the tunnel state is quantitative for objective assessment for tunnel state. This new standard and method is practically used in effective safety inspection and diagnosis and tunnel maintenance.

Keywords: Tunnel State, Assessment Standard, Class of Tunnel State, Safety Diagnosis, Maintenance

*1 정회원, 시설안전기술공단 진단본부 실장
*2 정회원, 시설안전기술공단 진단본부 부장
*3 정회원, 시설안전기술공단 진단본부 차장
*4 정회원, 대덕공영(주) 대표이사
*5 정회원, (주)대우건설 토목연구팀 차장

요 지

최근 터널 구조물이 점차 노후화됨에 따라 터널의 안전성을 평가하기 위한 점검 및 진단이 많이 수행되고 있다. 그러나 터널구조물의 상태 및 안전성 평가에 대한 명확한 기준이 없어 조사자의 주관적인 판단에 의존할 수 밖에 없는 실정으로 이에 대한 체계적인 기준정립이 요구되고 있다. 또한 기존방법은 터널라이닝에 대한 평가에 많은 비중을 주고 있어 지반구조물로서의 터널특성을 제대로 반영하지 못하고 있으며, 상태평가요소과 터널등급산정과정의 체계적이지 못하여 이에 대한 보완이 필요하다 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 터널 상태 및 안전성 평가방법의 문제점을 개선하기 위한 새로운 터널구조물상태평가기준을 제시하였다. 본 기준은 국내외의 터널기준을 분석하여 상태평가요소를 선정하고 이를 점수화하였으며, 대표등급산정방법을 정량화함으로써 터널상태를 객관적으로 평가할 수 있도록 하였다. 본 기준과 방법은 터널구조물에 대한 상태평가에 객관성과 신뢰성을 확보하여 보다 효율적인 안전점검 및 진단업무에 활용될 수 있다.

주요어: 터널상태, 평가기준, 대표등급, 안전진단, 유지관리

1. 서론

각종 터널 구조물의 건설이 날로 늘어감에 따라 보다 체계적이고 객관적인 터널의 유지관리가 요구되고 있으나 이에 따른 상태평가 기준·기법 등이 정립되어 있지 않고 있다. 특히 터널의 장기적이고 체계적인 유지관리를 위해서는 사용연한 동안에 수행된 각종 점검 및 진단 그리고 보수·보강이력 등의 자료에 대한 체계적인 관리와 이러한 자료를 토대로 터널의 역학적 상태 또는 건전도의 객관적이고 체계적인 평가가 요구된다. 그러나 현재 국내에서는 터널의 유지관리에 있어 유지관리 자료의 체계적인 관리기준이 제시되어 있으나 관리자 및 점검자의 수준 및 경험 정도에 의해 주관적인 판단이 작용하는 경우가 많은 실정이다.

본 연구에서는 이와 같은 제반 문제점을 해결하기 위하여 터널 구조물의 안전점검 및 안전진단시 책임기술자의 주관적 견해를 최소화하고, 객관적인 입장에서 터널의 상태평가를 수행할 수 있는 합리적인 평가기법 및 평가기준을 확립함으로써 터널 구조물에 대한 상태평가에 객관성과 신뢰성을 확보하여 보다 효율적인 안전점검 및 안전진단이 되도록 하고자 하였다.

2. 터널 상태평가 현황 분석

2.1 터널 상태평가 현황

상태평가(State Assessment)라 함은 “시설물 부재의 상태를 평가하는 행위(노후화와 결함의 정도 포함)”이다. 터널의 상태평가는 외관조사, 비파괴 현장시험, 재료시험 등을 실시하여 각각의 부재별 상태평가를 실시하고 그 결과로부터 결함의 범위 및 정도 등을 종합적으로 분석하여 터널을 5단계의 등급으로 대상을 평가하게 된다.

현재 터널에 대한 상태평가는 안전점검이나 안전진단 수행시 이루어지고 있으며, 터널 안전진단보고서 분석을 통하여 얻은 터널상태평가 현황 및 문제점을 정리하면 다음 표 1과 같다.

2.2 터널 상태평가 문제점 분석

1) 상태등급 평가기준

현행 상태평가지 이용되고 있는 평가기준은 안전점검 및 정밀안전진단 실무요령에서 규정하고 있으며, 이 기준표에 따라 평가하고 있다. 이와 같은 평가기준을 제시함으로써 어느 정도 터널상태에 대한 등급평가를 유도할 수는 있으나, 객관적이고 정량적인 평가를 수행할 수 없

표 1. 터널 상태평가 현황 및 문제점

| 항 목 | 현 황 및 문 제 점 |
|-----------|--|
| 평가 항목 | - 조사항목이 증가 : 새로운 진단기법 도입, 정밀진단요구 - 지질조사, 수치해석 등은 점차로 감소하는 경향 |
| 사전 조사 | - 사전 조사자료가 충분치 못한 실정 - 설계도면을 제외한 나머지 자료는 거의 참고가 되지 않음 |
| 외관 조사 | - 조사항목에 대해 따로 평가등급을 나누어 독립적인 분석 - 조사항목에 대한 연계성을 부여하고, 정확한 원인규명 필요 |
| 현장조사 및 시험 | - 새로운 비파괴 장비의 추가가 두드러진 현상 - 조사기간의 한계로 지속적인 변화여부를 판단하기가 곤란 |
| 지형 및 지질조사 | - 설계보고서 및 지질조사보고서를 그대로 이용 - 터널 및 주변지반의 지반공학적인 특성검토 필요 |
| 안정성 해석 | - 설계 및 시공도서에 명시되어있는 지반물성치 입력 - 균열, 누수, 손상 등에 대한 해석상의 어려움 존재 |

으며, 이에 따른 적절한 보수 보강공법의 선정 역시 신뢰할 수 없다고 판단된다.

2) 상태등급 구간설정

터널의 상태평가기 먼저 선행되어야 할 일은 우선 터널 내에서 측점을 분할하는 일이다. 터널내에서 구간을 나누어야 현재 자신의 위치를 알 수 있고, 터널 변상 등의 이상유무에 대한 사항을 외관조사망도에 기록할 수 있게 된다. 측점 분할의 간격은 대부분의 안전진단 보고자료에서 10m 간격으로 하고 있으며, 이 구간을 1 station으로 설정해서 각 조사항목별 평가등급을 기입하고 있다. 라이닝 열화에 대한 평가등급의 설정은 지침상에 나와 있는 단순한 평가기준표에 의해 기입하고 있는 실정이며, 이 평가 기준에는 구간에 따른 제반사항에 대해서는 전혀 언급이 되어 있지 못한 실정으로 현행의 구간설정 방식에는 문제

점이 있다고 판단된다.

3) 평가항목간 연계분석

현행 터널의 상태평가기 여러 가지 조사항목들을 이용하여 조사하면서 이들 항목들에 대해 서로 연계된 분석은 거의 없는 실정인데, 변상의 원인 규명을 위해 각각의 조사항목들에 대해서 연계성을 주어 분석하는 것이 반드시 필요하리라 판단된다.

라이닝의 상태평가기 이용되는 조사항목으로는 슈미트 해머, 초음파탐사, 철근탐사, 철근부식도 측정, 코아 압축 강도, 염도측정, 콘크리트 배합비, 수질조사, 투수시험, 균열조사, 누수조사, 손상조사 등 각각에 연계성을 고려하여 분석할 필요가 있다. 이와같은 연계성 분석을 통하여 터널변상원인의 규명이 이루어 질 수 있을 것으로 판단된다.

4) 변상에 대한 원인분석

터널 상태평가기 가장 중요시해야될 부분은 조사 결과의 정확한 분석이 무엇보다도 중요하며, 그 원인 규명이 가장 중요하다 할 수 있다. 정확한 원인을 알고 있을 때 적절한 보수 보강 대책이 나올 수 있고 그에 따라 터널의 유지관리 업무가 수월해지며, 터널의 공용연수를 증가시킬 수 있는 바탕이 된다고 판단된다.

기존진단자료를 분석한 결과 정확한 원인 규명에 의한 결과를 제시하기보다는 라이닝 손상의 현황을 파악해서 손상부위에 대한 보수 보강법을 제시하고 있는 실정이다. 안전진단 결과 정확한 원인 규명에 의해서 변상의 원인을 제거할 수 있는 적절한 보수 보강법을 제시하여야 할 것으로 판단된다.

5) 상태등급 산정방법

현재 터널에 대한 대표등급 표기 방법은 터널 구간의 측점을 분할하고 구간을 나누고 상태평가 조사내용을 평가기준에 따라 평가등급을 기입한후 평가등급 총괄표를 작성하고 총괄표에 표시된 평가등급으로 그 구간의 대표 등급을 표시한다. 위와 같은 방법으로 진단 결과를 각 구간별로 평가등급에 따라 표시하고 있다. 이 중 대표등급

표 2. 터널 상태평가기준(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(터널), 2000)

| 상태등급 구분 | A | B | C | D | E |
|------------|----------------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--|
| 균열폭 | 0.1mm미만 | 0.1~0.2mm미만 | 0.2~0.3mm미만 | 0.3~0.7mm미만 | 0.7mm이상 |
| 박 리 | 없음 | 0.5mm미만 경미함 | 0.5~1.0mm미만 중간정도 | 1.0~25mm미만 심 함 | 25mm이상 조골재 손실 |
| 박 락 | 없음 | 경미한 상태 | 깊이 25mm미만 또는 직경 150mm미만 소 형 | 깊이 25mm이상 또는 직경 150mm이상 대 형 | 박락이 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태 |
| 백 태 | 없음 | 국부적인 백태 | 백태현상이 여러곳에서 발견됨 | 백태현상이 심한 상태 | 백태현상이 매우 심하고 범위가 매우 넓은 상태 |
| 손 상 | 없음 | 없음 | 경미한 파손 10cm×10cm미만 | 파손면적 10cm×10cm이상 ~30cm×30cm미만 | 파손이 극심하여 즉시보수를 요하는 경우, 30cm×30cm이상 |
| 누 수 | 누수부위가 없는 경우 | 누수흔적이 있는 상태 | 균열사이로 약간의 누수가 있는 상태 | 균열사이로 누수가 많은 상태 | 균열 사이로 물이 계속 떨어지는 상태 |

을 결정하는 방법은 해당구간 내에 각각의 진단항목들의 평가 등급을 종합하여 표시하게 되는데 대부분 가장 나쁜 평가등급으로 그 구간의 대표등급이 결정되는 것으로 분석되었다.

3. 터널 상태판정기준 분석

3.1 국내 터널 상태평가기준

상태평가는 외관조사, 비파괴 현장시험, 재료시험 등을 실시하여 수행되며, 국내 터널 상태평가 기준은 표 2와 같다.

상태평가는 균열폭, 박리, 박락, 백태, 손상, 누수 등의 상태등급을 A, B, C, D, E의 5가지 단계로 평가하도록 제시하고 있다. 또한 상태평가는 시설물의 주요 구조부에 대한 재료 및 육안조사에서 조사된 상태에 대한 평가를 포함한다.

3.2 국내 터널 상태판정기준

책임기술자는 점검 및 진단결과 각 부재로부터 발견된 결함을 근거로 하여 결함의 범위 및 정도(심각도) 등 종합적인 분석에 따라 평가기준에 의거 상태등급을 표 3과 같이 A, B, C, D, E의 5가지 단계로 판정해야한다.

표 3. 터널상태 종합평가 기준

| 상태 등급 | 상 태 |
|-------|--|
| A | 문제점이 없는 최상의 상태 |
| B | 경미한 손상의 양호한 상태 |
| C | 보조부재에 손상이 있는 보통의 상태 |
| D | 주요부재에 진전된 노후화(콘크리트의 전단균열, 침하등)로 긴급한 보수보강이 필요한 상태로 사용 제한여부를 판단 |
| E | 주요부재에 심각한 노후화 또는 단면손실이 발생하였거나 안전성에 위험이 있어 시설물을 즉각 사용 금지하고 개축이 필요한 상태 |

3.3 일본의 터널 상태판정기준

3.3.1 도로터널

- 1) 판정구분 (표 4 참조)
- 2) 판정기준 (표 5 참조)

3.3.2 철도터널

- 1) 판정구분 (표 6 참조)
- 2) 판정기준 (표 7 참조)

표 4. 일본의 도로터널 상태 판정구분

| 판정구분 | 판정 요소 | | | | 대책의 긴급도 |
|------|---------------------|-------------------|--------------------|-----------------|---------------------|
| | 사용자 (차량의 안전주행) | 구조물 (구조물 안전성) | 유지관리 (유지관리 작업량) | 변상의 정도 | |
| 3A | 위험 | 중대한 영향 | 현저함 | 중대 | 즉시 대책수립 |
| 2A | 조만간 위험해짐 이상시 위험함 | 조만간 중대한 영향을 미침 | 큼 | 진행중 기능저하 | 조속한 대책수립 |
| A | 장래 위험해짐 | 장래 중대한 영향을 미침 | 중간정도 | 진행중 기능저하 가능성 | 중점적 관찰 계획적인 대책수립 |
| B | 영향을 미치지 않음 | 영향을 미치지 않음 | 거의 없음 | 경미 | 관찰 |

표 5. 일본의 도로터널 상태 판정기준

| 판정구분 | 판정 기준 |
|----------------|--|
| 1. 외력에 의한 판정 | 통상적 변상·붕괴와 돌발성 붕괴로 구분 ① 변형속도 ② 균열(폭과 길이, 진행성유무) ③ 박리·박락(위치, 낙하) |
| 2. 재질열화에 의한 판정 | ① 단면강도의 저하(열화도) ② 박리·박락(위치, 낙하유무) ② 강재부식 |
| 3. 누수에 의한 판정 | ① 누수정도 ② 차량장애 유무 ③ 위치(아치부, 측벽부, 노면) ④ 현상(누수, 고드름, 동결 등) |

표 6. 일본의 철도터널 상태 판정구분

| 판정구분 | 사용자에 대한 영향 | 변상 정도 | 조치 | |
|------|----------------|--------------------------|-----------------------|------------|
| A | AA | 위험 | 즉시 조치 | |
| | A1 | 조만간 위험해짐 이상외력 작용하면 위험 | 변상이 진행되고 기능저하도 진행됨 | 급속히 조치 |
| | A2 | 장래 위험해짐 | 변상이 진행되고 기능저하의 염려 | 필요한 시기에 조치 |
| B | 진행됨에 따라 A등급이 됨 | 진행됨에 따라 A등급이 됨 | 감시(필요할 때 조치) | |
| C | 현상에서는 영향 없음 | 경미함 | 중점적 검사 | |
| S | 영향 없음 | 없음 | - | |

표 7. 일본의 철도터널 상태 판정기준

| | | |
|------|---------------|--|
| 전반검사 | 외력에 의한 변상 | ① 라이닝 변형, 이동, 침하 ② 박리·박락 |
| | 라이닝 열화에 의한 변상 | ① 박락 ② 누수, 고드름, 측빙 |
| 개별검사 | 외력에 의한 변상 | ① 라이닝 변형, 이동, 침하 등 ② 내부단면 한계 ③ 압좌 ④ 균열 |
| | 재질열화에 의한 변상 | ① 라이닝 내력의 저하 ② 박리·박락 |
| | 누수에 의한 변상 | ① 누수, 고드름, 측빙 ② 노반변상 ③ 전기시설영향 |

표 8. 독일의 터널 상태 판정기준 - 손상지수

| 손상 분류 | 등급(%) | | | | | |
|--------|------------|--------|-------|-------|-------|--------|
| | 1~10 | 11~25 | 26~40 | 41~60 | 61~80 | 81~100 |
| 라이닝 손상 | 1 | 2~3 | 4~5 | 6~7 | 8~9 | 10~12 |
| 균열 발생 | 1 | 2 | 3 | 4~5 | 6~8 | 8~10 |
| 조적줄눈상태 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 방수 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 배수 | 오염됨 | | | | | 1 |
| | 없거나 불충분 | | | | | 2 |
| 지반손상 | 절리발생 또는 풍화 | 영향범위 내 | | | | 3 |
| | | 영향범위 외 | | | | 1 |
| 갱구옹벽손상 | 손상 | | | | | 1 |
| 추가점 | 비전철터널에서 낙수 | | | | | 1 |
| | 전철터널에서 낙수 | | | | | 2 |
| | 동결위험 | | | | | 3 |

$$\text{손상지수 } F = \frac{\sum \text{점수}}{40}$$

3.4 독일의 터널 상태판정기준

1) 손상평가 구성

터널 손상평가는 터널과 지반 및 갯문 등으로 구분하고 육안조사와 지반조사를 수행하여 터널상태를 분류하고 이를 수치화하여 터널등급을 판정한다.

2) 손상지수

손상에는 라이닝 손상, 균열발생, 조인트 상태, 방수, 배수, 지반, 갯문상태 등을 모두 포함시키며, 경험적으로 결정한 점수에 따라 손상을 백분율로 표시한다. 또한 전철터널에서의 누수와 동결위험에 대한 추가점수를 반영하도록 하고있다. (표 8 참조)

3) 터널등급 분류

계산된 손상지수로부터 터널상태를 위험등급 5단계로 구분하고 있다. (표 9 참조)

3.5 국내외 터널 상태판정기준 비교검토

국내외의 터널 상태판정기준을 비교·분석한 결과 국내의 경우 터널상태등급을 5등급으로 구분하고, 평가요소는 균열폭, 박리, 박락, 백태, 손상, 누수 등에 의한 등급을 판정하도록 하고 있다.

일본의 경우 도로터널과 철도터널로 구분되어 있으며, 도로터널은 4등급, 철도터널은 전반검사시 4등급으로 구

표 9. 독일의 터널 등급 분류

| 점수 | 손상지수 | 위험등급 | 터널상태 | 시간적인 변화 |
|-------|-----------|------|-------|---------------|
| ≤4 | <0.10 | I | 매우 우수 | 무제한 |
| 5~10 | 0.10~0.25 | II | 우수 | 손상정도의 변화시 |
| 11~17 | 0.26~0.44 | III | 보통 | 차기 주요조사까지(2년) |
| 18~26 | 0.45~0.65 | IV | 불량 | 차기 터널조사까지(1년) |
| >26 | >0.65 | V | 매우 불량 | 즉각적인 조치 |

분하고, A등급인 경우 개별검사를 통해 다시 3등급으로 구분하였다. 또한 터널변상원인을 외력, 재질열화, 누수로 구분하여 평가요소를 선정하였다.

독일의 경우 손상지수를 도입하여 터널의 위험상태를 5개의 위험등급으로 구분하였으며, 평가요소는 라이닝 손상, 균열발생, 조적줄눈상태, 방수, 배수상태, 지반손상, 갱구옹벽손상 등이다. 각각의 평가요소에 대한 손상 정도를 점수화하고 이를 합산하여 터널의 등급을 평가하도록 하고 있다. (표 10 참조)

4. 터널상태 평가요소 분석

4.1 균 열

터널 라이닝에서 발생하는 균열은 외력이 작용하여 발생하는 경우와 콘크리트 재료특성에 의한 것으로 구분할 수 있으며, 그 원인에 따라서 라이닝의 보수보강방법이 다르게 적용된다. 또한 균열의 발생하는 형태와 종류도 매우 다양해서 균열의 원인을 평가하는 것은 매우 어려운 일이다.

표 10. 터널 상태 평가기준(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(터널), 2000)

| 구분 | 국내기준 | 일본 도로터널기준 | 일본 철도터널기준 | 독일 기준 |
|-------|---|--|--|--|
| 상태 등급 | A : 최상의 상태 B : 양호한 상태 C : 보통의 상태 D : 보수·보강필요 E : 사용제한, 개축필요 | 3A : 즉시대책 2A : 조속한 대책 A : 중점관찰, 대책계획 B : 관찰 | A- AA: 위험, 변상중대 A1: 조만간위험, 변상진행 A2: 장래 위험, 기능저하 B : 진행됨에 따라 A등급됨 C : 경미함 S : 없음 | I : 매우 우수 II : 우수 III : 보통 IV : 불량 V : 매우 불량 |
| | 5등급 | 4등급 | 전반검사 : 4등급(A, B, C, S) 개별검사 : 3등급(AA, A1, A2) | 5등급 |
| 판정 요소 | · 결함의 범위 및 정도 (심각도) · 보수/보강 · 사용제한 | · 사용자 : 보행자, 차량주행 · 구조물 : 구조물 안전성 · 유지관리 : 작업량 · 변상의 정도 · 대책의 긴급도 | · 운전등 사용자에게 대한 영향 · 변상의 정도 · 조치(대책) | · 손상지수/위험등급 · 터널상태 · 시간적인 변화 · 보수보강 및 재건축대책 |
| 평가 요소 | ① 균열(폭) ② 박리 ③ 층분리, 박락 ④ 백태 ⑤ 손상 ⑥ 누수 | ■ 외력에 의한 변상 ① 라이닝의 변형, 이동, 침하 변형속도 ② 균열(진행성 여부) 균열폭과 길이 ③ 박리·박락 낙하유무, 아치/측벽부구분 ■ 재질열화에 의한 변상 ① 박리·박락 및 두께감소 ② 강재부식 ■ 누수에 의한 변상 ① 용수정도/주행장애 아치/측벽/노면 구분 | ■ 외력에 의한 변상 ① 라이닝의 변형, 이동, 침하 내공변위변위속도 ② 내부단면 한계(건축한계) ③ 압좌여부(길이) ④ 균열(폭과 길이) ■ 재질열화 ① 라이닝 내력저하(유효두께) ② 박리·박락 ■ 누수 | ① 라이닝 손상 ② 균열발생 ③ 조적줄눈 상태 ④ 방수 ⑤ 배수 ⑥ 지반손상 ⑦ 갱구옹벽 손상 |
| 비고 | 상태 평가 | 건전도 평가 | 건전도 평가 | 손상도 평가 |

표 11. 균열에 대한 평가기준비교

| 구 분 | 국내기준 | 일본 도로터널기준 | 일본 철도터널기준 | 미국 L터널기준 |
|------------------|---|---|--|--|
| 평가항목 | 균열의 폭 | 균열의 폭 / 길이 | 균열의 폭 / 길이 | 균열의 폭 |
| 평가기준 | A : 0.1mm이하 B : 0.1~0.2mm C : 0.2~0.3mm D : 0.3~0.7mm E : 0.7mm이상 | 진행성균열 3mm이상/5m이상: 3A-2A 3mm이상/5m미만: 2A-A 3mm미만 : A 진행성유무 비확인 5mm이상/10m이상: 3A-2A 5mm이상/5~10m이상:2A-A 5mm이상/5미만 : 2A-A 3~5mm/10m이상 : 2A 3~5mm/5~10m이상:2A-A 3~5mm/5미만 : 2A 3mm미만 : A~B | 5mm이상 10m이상:AA~A1 5~10m : A1 5m 이하 : A1 3~5mm 10m이상: A1 5~10m : A1 5m 이하 : A2 | 1.59mm미만 : 보수없음 1.59~3.18mm : A : 보수보강 3.18~6.35mm : B : 보수보강 6.35mm이상 : C : 보수보강 |
| 보수를 필요로 하는 최소균열폭 | 0.3mm | 3mm | 3mm | 1.59mm |
| 비 고 | · 정량적으로 세분화됨 · 보수를 요하는 최소 균열폭 0.3mm로 작음 | · 균열의 진행성여부에 따라 평가 등급조정 · 균열의 폭과 길이를 연계시킴 | · 균열의 폭과 길이를 연계시킴 | · 균열폭에 따라 보수보강방법 제시 |

라고 할 수 있다. 현재의 기준은 균열폭만으로 한정되어 있어 합리적인 상태평가 및 보수보강방법을 결정하는 기준으로는 부족하다고 판단되며, 균열에 평가시 균열의 폭 뿐만 아니라 연장 그리고 진행성 유무, 발생형태 등에 대한 평가가 이루어져야 한다. 또한 무근콘크리트 라이닝과 철근콘크리트 라이닝의 경우 그 적용기준이 달라야 한다.

각국의 균열평가기준을 표 11에 나타내었다. 국내기준과 미국기준처럼 균열의 폭만을 기준으로 하는 경우와 일본기준처럼 균열의 폭과 길이(연장)를 기준으로 하는 경우로 나눌 수 있다. 국내기준은 일반 콘크리트구조물에 대한 허용 균열폭을 적용하여 기준이 매우 세분화되어 있으며, 보수를 필요로 하는 균열폭이 0.3mm로 매우 작다. 이에 비해 일본과 미국의 경우는 터널구조물의 특수성을 고려하여 균열의 폭이 3mm, 1.59mm로 매우 큼을 알 수 있다. 또한 일본도로터널의 경우 균열의 진행성 여부를 판단하도록 하여 평가등급을 조정하고 있다.

4.2 손상 / 박리·박락

박리·박락에 대한 평가는 콘크리트 내구성 및 사용성 등에 중요한 영향을 미치므로 박리의 발생 위치와 크기 등을 종합적으로 검토해야 하며, 구조적으로 영향이 있는지의 여부 등을 평가해야 한다. 박리·박락은 콘크리트 자체의 재질열화에 의해 발생하는 경우와 외력이 작용하여 발생하는 경우로 구분할 수 있는데, 박리·박락의 원인을 잘 판단할 수 있도록 해야한다. 박리·박락은 그 깊이나 직경으로 그 규모를 판단할 수 있으며, 설계두께로부터 얼마만큼의 단면감소가 발생하였는지를 평가하여야 한다.

각국의 박리·박락에 대한 평가기준을 표 12에 비교 검토하여 나타내었다. 국내기준은 박리와 층분리·박락을 구분하고, 깊이 또는 직경을 기준으로 하여 정량적인 판정이 가능하도록 하였다. 일본 도로터널기준의 경우 박리·박락에 의한 두께감소를 고려하여 유효두께 개념을 적용하였다. 이는 설계두께에 대한 일정강도 이상의 두께(유효두께)

표 12. 손상/박리·박락에 대한 평가기준비교

| 구 분 | 국내 기준 | 일본 도로터널기준 | 일본 철도터널기준 |
|------|--|---|--|
| 평가항목 | 박리의 깊이 박락의 깊이 / 직경 | 낙하 유무 두께 감소(열화도) | 낙하물의 크기 내력저하도 |
| 평가기준 | - 박리 A : 없음 B : 0.5mm 미만 C : 0.5~1.0mm D : 1.0~20mm E : 20mm 이상 - 층분리 / 박락 A : 없음 B : 경미한 상태 C : 깊이 25mm, 직경 150mm미만 D : 깊이 25mm이상 직경 150mm이상 E : 극심한 상태로 보수를 요함 | - 박리 / 박락 아치부 유 : 3A 무 : B 측벽부 유 : 2A 무 : B - 열화도(유효두께/설계두께) 아치부 1/2이하 : 2A 1/2~2/3 : A 2/3이상 : B 측벽부 1/2이하 : 2A 1/2~2/3 : A 2/3이상 : B | -박리/박락 벽돌보다 큼 : AA 벽돌크기 : A1 골재크기 : A2 -내력저하도 (유효두께/설계두께) 1/2 이하 : AA 2/3 정도 : A1 |
| 비 고 | · 박리와 층분리/박락을 구분함 · 정량적으로 세분 | · 박리/박락의 발생위치에 따라 평가등급 조정 · 박리/박락에 의한 두께 감소를 고려 | · 기준이 정성적임 |

를 계산하여 콘크리트의 열화도를 평가하여 등급에 반영하도록 하였다. 일본 철도터널의 경우 낙하물의 유무 및 크기를 판정기준으로 하였으며, 정성적인 기준임을 알 수 있다.

콘크리트 라이닝에서의 박리·박락은 낙하물이 발생하여 차량이나 열차운행의 심각한 지장이나 안전사고를 유발할 수 있으므로 이에 대한 조사 및 점검이 매우 중요하다고 할 수 있다. 또한 박리·박락의 발생원인이 재료적인 열화에 의한 것인지, 외력에 의한 것인지를 판단할 필요가 있다.

4.3 누 수

배수공의 시공결함과 시공이음의 결함 또는 균열 등으로부터 발생된 누수에 대하여 그 상태를 조사해야 하며, 배수설비의 기능저하나 혹은 설계배수량을 초과하는 강수량을 기록하는 경우에는 배수형 무근 콘크리트 라이닝에 수압이 작용할 수도 있으므로 구조적 결함을 유발시킬 수 있는지의 여부를 평가해야 한다.

누수는 겨울철에 결빙되면 고드름이 생성되며 차량운행에 지장을 주거나 노면의 경우 동결에 의해 미끄러짐에 의한 안전사고가 발생할 수 있음을 유의해야 한다.

국내 누수의 평가기준은 정성적인 분류로 구성되어 있어 조사의 객관성이 결여될 수 있으므로 이에 대한 정량적인 분류를 제시해야 하는데, 독일의 터널 용도에 따른 방수등급규정에서 보는 바와 같이 국내 안전진단 대상터널이 대부분 방수등급 3~5 사이의 분류에 속하고 있어 이를 근거로 터널내 유입수량에 대한 정량적인 분류를 제안할 수 있다. 이외에도 누수의 개소 그리고 터널 단면상의 누수 위치 등에 대한 조사와 평가가 수행되어야 한다.

각국의 누수 평가기준을 표 13에 비교·검토하여 나타내었다. 국내기준은 누수상태에 대한 정성적인 평가를 하고 있고, 일본 도로터널의 경우, 누수정도 및 차량주행장애 유무를 평가기준으로 설정하였다. 또한 누수의 발생위치에 따라 등급을 조정하였고, 누수 현상을 누수위치에 따라 고드름, 측수, 토사 유출, 탁수, 동결로 구분하여 누수정도에 따라 평가하였다.

표 13. 누수에 대한 평가기준비교

| 구분 | 국내기준 | 일본 도로터널기준 | 일본 철도터널기준 |
|------|---|---|--|
| 평가항목 | 누수상태 | 누수정도 차량주행 장애 | 차량운행 및 시설물 장애 여부 |
| 평가기준 | A : 누수 없음 B : 누수 흔적이 있는 상태 C : 누수가 약간 있는 상태 D : 누수가 많은 상태 E : 물이 계속 떨어지는 상태 | - 누수정도(아치) 분출 / 주행장애有 : 3A 흐름 / 주행장애有 : 2A 떨어짐 / 주행장애有 : A 주행장애無 : B - 누수정도(측벽) 분출 / 주행장애有 : 2A 흐름 / 주행장애有 : A 떨어짐 / 주행장애有 : A 주행장애無 : B - 누수정도(노면) 토사유출, 탁수, 동결 주행장애有 : 3A~2A 주행장애無 : B | - 고드름 생성, 측벽부 빙결, 단면한계 지장 차량운행지장 : AA - 누수가 전기시설에 영향 : AA - 노반히빙, 정상운전 환경근란 : A1 - 노반상태 불량 : B |
| 비고 | · 누수상태를 정성적으로 구분 · 누수위치나 주행에 대한 평가가 없음 | · 누수위치(아치부, 측벽부, 노면)에 따라 구분 · 누수, 고드름, 측수, 토사유출, 탁수, 동결 등으로 구분 · 차량주행장애 여부를 평가등급에 반영 | · 누수로 인하여 열차운행에 지장을 주는 경우에 중점 · 누수정도나 상태에 대한 기준은 없음 |

5. 터널 상태평가기준 작성(안) 제시

5.1 터널분류 및 평가항목

1) 터널분류

터널 시공방법 및 라이닝 재질에 따라 상태평가지에 고려해야 할 터널을 분류하면 그림 1과 같다.

2) 평가항목

터널의 상태평가지 고려해야 할 주요 평가항목은 표 14와 같다.

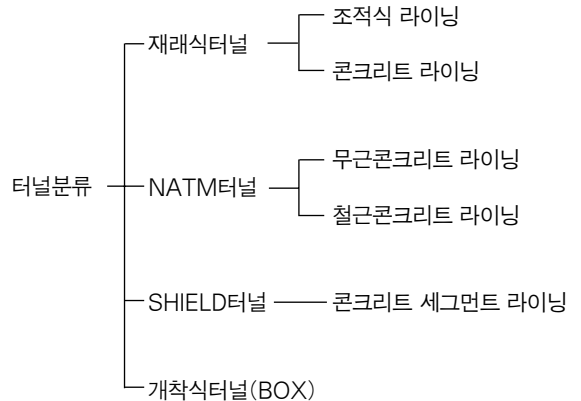


그림 1. 시공방법 및 라이닝 재질에 따른 터널분류

표 14. 터널상태 평가 주요항목

| 구분 | 평가요소 |
|---------|--|
| 라이닝 상태 | 균열 손상 누수 열화(바리, 박락, 백태, 철근노출) |
| 터널주변 상태 | 배수상태 지반상태 갱문상태 특수조건 : 추가점수 부여 |

3) 터널부위별 명칭

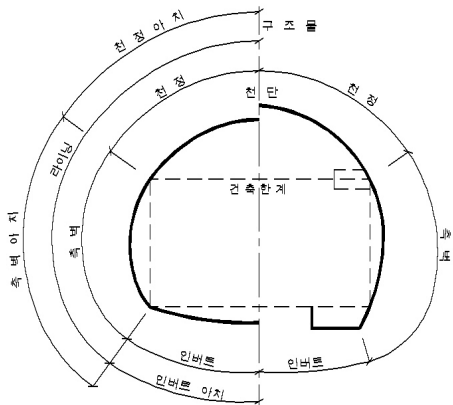


그림 2.

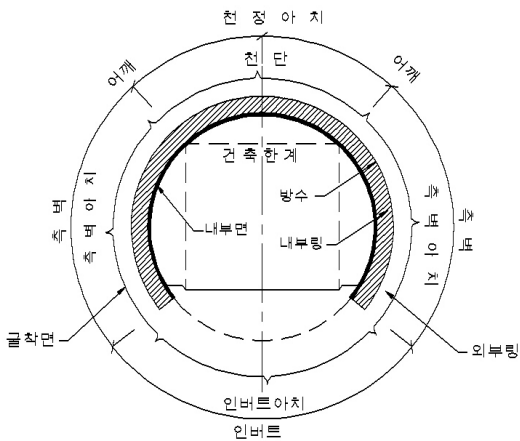


그림 3.

5.2 터널별 상태평가등급

5.2.1 재래식터널(조적식 라이닝)

(표 15 참조)

5.2.2 재래식터널(콘크리트 라이닝)

(표 16 참조)

5.2.3 NATM터널(무근콘크리트 라이닝)

(표 17 참조)

5.2.4 NATM터널(철근콘크리트 라이닝)

(표 18 참조)

5.2.5 SHIELD터널(콘크리트 세그먼트 라이닝)

(표 19 참조)

5.2.6 개착식터널(BOX)

개착식터널에 대한 상태평가는 철근콘크리트구조물의 평가방법에 준하며, 본 상태평가기준을 적용하는 경우 철근콘크리트 라이닝에 대한 평가방법을 적용한다.

(표 20 참조)

5.3 평가항목별 세부기준

평가항목은 기존의 국내기준과 같이 5등급으로 세분하였고, 평가등급은 대표등급과의 차이를 두기 위하여 소문자 a, b, c, d, e로 표기하도록 하였다. 또한 별도의 시험으로부터 구해야만 하는 정량적 수치를 지양하였으며 외관조사를 통하여 얻을 수 있고 쉽게 판단할 수 있는 평가방법을 정하였다.

세부기준은 기존 국내기준과 국외기준을 참고하여 결정하였으며, 실무자들의 의견과 현실적인 여건을 고려하여 정하였다. 또한, 각각의 평가항목에 대한 상태평가는

표 15. 터널의 상태평가 등급 - 재래식 터널(조적식 라이닝)

| 결함 등급 | | a | b | c | d | e | |
|--|------------|--|--------------|-----------|-----------|-------|---|
| | | 0≤f<.15 | .15≤f<.30 | .30≤f<.55 | .55≤f<.75 | .75≤f | |
| 라이닝 | 줄눈상태 | 1 | 2~3 | 4~5 | 6~7 | 8~10 | |
| | 손상 | 1 | 2~3 | 4~6 | 7~8 | 9~12 | |
| | 누수 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5~6 | |
| | 재질 열화 | 박리 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| | | 박락 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 백태 | | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | |
| 터널 주변 | 배수상태 | 오염됨 : 1 | | | | | |
| | | 배수불량 또는 막힘 : 2 | | | | | |
| | 지반상태 | 풍화변질 및 단층파쇄대 | 영향범위 내 : 2~3 | | | | |
| 갱문상태 | 영향범위 외 : 1 | | | | | | |
| 특수조건 | | 손상 : 1 | | | | | |
| | | 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1~3 | | | | | |
| $\text{라이닝 결함지수}(f) = \frac{\sum \text{결함점수}}{34}, \text{결함지수}(F) = \frac{\sum \text{결함점수}}{40}$ | | | | | | | |

표 16. 터널의 상태평가 등급 - 재래식터널(콘크리트 라이닝)

| 결함 등급 | | a | b | c | d | e | |
|--|------------|--|--------------|-----------|-----------|-------|---|
| | | 0≤f<.15 | .15≤f<.30 | .30≤f<.55 | .55≤f<.75 | .75≤f | |
| 라이닝 | 균열 | 1 | 2~3 | 4~5 | 6~7 | 8~10 | |
| | 손상 | 1 | 2~3 | 4~6 | 7~8 | 9~12 | |
| | 누수 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5~6 | |
| | 재질 열화 | 박리 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| | | 박락 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 백태 | | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | |
| 터널 주변 | 배수상태 | 오염됨 : 1 | | | | | |
| | | 배수불량 또는 막힘 : 2 | | | | | |
| | 지반상태 | 풍화변질 및 단층파쇄대 | 영향범위 내 : 2~3 | | | | |
| 갱문상태 | 영향범위 외 : 1 | | | | | | |
| 특수조건 | | 손상 : 1 | | | | | |
| | | 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1~3 | | | | | |
| $\text{라이닝 결함지수}(f) = \frac{\sum \text{결함점수}}{34}, \text{결함지수}(F) = \frac{\sum \text{결함점수}}{40}$ | | | | | | | |

표 17. 터널의 상태평가 등급 - NATM 터널(무근 콘크리트 라이닝)

| 결함 등급 | | a | b | c | d | e | |
|--|-------|--|-----------|----------------------------|-----------|-------|---|
| | | 0≤f<.15 | .15≤f<.30 | .30≤f<.55 | .55≤f<.75 | .75≤f | |
| 라이닝 | 균열 | 1 | 2~3 | 4~5 | 6~7 | 8~10 | |
| | 손상 | 1 | 2~3 | 4~6 | 7~8 | 9~12 | |
| | 누수 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5~6 | |
| | 재질 열화 | 박리 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| | | 박락 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 백태 | | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | |
| 터널 주변 | 배수상태 | 오염됨 : 1 | | | | | |
| | | 배수불량 또는 막힘 : 2 | | | | | |
| | 지반상태 | 풍화변질 및 단층파쇄대 | | 영향범위 내 : 2~3 영향범위 외 : 1 | | | |
| | 갱문상태 | 손상 : 1 | | | | | |
| 특수조건 | | 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1~3 | | | | | |
| $\text{라이닝 결함지수}(f) = \frac{\sum \text{결함점수}}{34}, \quad \text{결함지수}(F) = \frac{\sum \text{결함점수}}{40}$ | | | | | | | |

표 18. 터널의 상태평가 등급 - NATM 터널(철근 콘크리트 라이닝)

| 결함 등급 | | a | b | c | d | e | |
|--|-------|--|-----------|----------------------------|-----------|-------|---|
| | | 0≤f<.15 | .15≤f<.30 | .30≤f<.55 | .55≤f<.75 | .75≤f | |
| 라이닝 | 균열 | 1 | 2~3 | 4~5 | 6~7 | 8~10 | |
| | 손상 | 1 | 2~3 | 4~5 | 6~7 | 8~10 | |
| | 누수 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5~6 | |
| | 재질 열화 | 박리 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| | | 박락 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | | 백태 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| | 철근노출 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | |
| 터널 주변 | 배수상태 | 오염됨 : 1 | | | | | |
| | | 배수불량 또는 막힘 : 2 | | | | | |
| | 지반상태 | 풍화변질 및 단층파쇄대 | | 영향범위 내 : 2~3 영향범위 외 : 1 | | | |
| | 갱문상태 | 손상 : 1 | | | | | |
| 특수조건 | | 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1~3 | | | | | |
| $\text{라이닝 결함지수}(f) = \frac{\sum \text{결함점수}}{34}, \quad \text{결함지수}(F) = \frac{\sum \text{결함점수}}{40}$ | | | | | | | |

표 19. 터널의 상태평가 등급 - Shield터널

| 결함 등급 | | a | b | c | d | e | |
|-------|----------|--|-----------|--------------|-----------|-------|---|
| | | 0≤f<.15 | .15≤f<.30 | .30≤f<.55 | .55≤f<.75 | .75≤f | |
| 라이닝 | 균열 | 1 | 2~3 | 4~5 | 6~7 | 8~10 | |
| | 손상 | 1 | 2~3 | 4~5 | 6~7 | 8~10 | |
| | 누수 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5~6 | |
| | 재질 열화 | 박리 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| | | 박락 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | | 백태 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 철근노출 | | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | |
| 터널 주변 | 배수상태 | 오염됨 : 1 | | | | | |
| | | 배수불량 또는 막힘 : 2 | | | | | |
| | 지반상태 | 풍화변질 및 단층파쇄대 | | 영향범위 내 : 2~3 | | | |
| | | | | 영향범위 외 : 1 | | | |
| 강문상태 | 손상 : 1 | | | | | | |
| 특수조건 | | 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1~3 | | | | | |

$$\text{라이닝 결함지수}(f) = \frac{\sum \text{결함점수}}{34}, \quad \text{결함지수}(F) = \frac{\sum \text{결함점수}}{40}$$

표 20. 터널의 상태평가 등급 - 개착식 터널

| 결함 등급 | | a | b | c | d | e | |
|-------|----------|--|-----------|--------------|-----------|-------|---|
| | | 0≤f<.15 | .15≤f<.30 | .30≤f<.55 | .55≤f<.75 | .75≤f | |
| 라이닝 | 균열 | 1 | 2~3 | 4~5 | 6~7 | 8~10 | |
| | 손상 | 1 | 2~3 | 4~5 | 6~7 | 8~10 | |
| | 누수 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5~6 | |
| | 재질 열화 | 박리 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| | | 박락 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| | | 백태 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 철근노출 | | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | |
| 터널 주변 | 배수상태 | 오염됨 : 1 | | | | | |
| | | 배수불량 또는 막힘 : 2 | | | | | |
| | 지반상태 | 풍화변질 및 단층파쇄대 | | 영향범위 내 : 2~3 | | | |
| | | | | 영향범위 외 : 1 | | | |
| 강문상태 | 손상 : 1 | | | | | | |
| 특수조건 | | 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1~3 | | | | | |

$$\text{라이닝 결함지수}(f) = \frac{\sum \text{결함점수}}{34}, \quad \text{결함지수}(F) = \frac{\sum \text{결함점수}}{40}$$

표 21. 평가항목별 세부기준





| 구분 | | 등급 | a | b | c | d | e |
|----------|---------|----|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|
| 콘크리트 라이닝 | 무균(균열) | | 0.1mm미만 | 0.1mm이상 0.3mm미만 | 0.3mm이상 1.0mm미만 | 1.0mm이상 3.0mm미만 | 3.0mm이상 |
| | 철균(균열) | | 0.1mm미만 | 0.1mm이상 0.3mm미만 | 0.3mm이상 0.7mm미만 | 0.7mm이상 1.5mm미만 | 1.5mm이상 |
| 개착식터널 | BOX(균열) | | 0.1mm미만 | 0.1mm이상 0.2mm미만 | 0.2mm이상 0.3mm미만 | 0.3mm이상 0.7mm미만 | 0.7mm이상 |
| 조적식 라이닝 | 줄눈상태 | | 없음 | 아주 경미한 줄눈깨짐 | 벽돌 2개소 이하 | 벽돌 2~5개소 | 벽돌 5개소 이상 |
| 해설 | | | <p>1) 진행성의 유무가 확인되지 않은 경우에 적용하며 진행성이 확인되는 경우 등급을 하향조정하고 정밀진단을 실시하여 정기적으로 관찰하도록 한다.</p> <p>2) 균열형상은 종균열, 횡균열, 경사균열, 망상균열로 구분하며 종균열의 경우 등급을 하향조정하고 균열의 발생원인을 조사하도록 한다.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">     </div> <p>3) 균열길이는 스팬 길이 또는 20m를 기준으로 판단하며, 다음 스팬에 이어 연속적으로 이어져 있는 경우 등급을 하향조정하도록 한다</p> <p>4) 조적식 라이닝의 경우 줄눈깨짐의 연속성 정도에 따라 등급을 하향조정하도록 한다.</p> | | | | |

표 22. 손상평가 세부기준

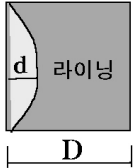
| 구분 | | 등급 | a | b | c | d | e |
|----------|------|----|--|-----------|-------------------------|--|-------------------------|
| 콘크리트 라이닝 | 손상도 | | 없음 | 1/6미만 | 1/6이상 1/3미만 | 1/3이상 1/2미만 | 1/2이상 |
| | 손상면적 | | 없음 | 아주 경미한 상태 | 경미한 손상 (10cm×10cm미만) | 중간 손상 (10cm×10cm이상, 30cm×30cm미만) | 극심한 손상 (30cm×30cm이상) |
| 조적식 라이닝 | 손상두께 | | 없음 | 벽돌부분손상 | 벽돌 1개 이하 | 벽돌 1~2개 | 벽돌 2개 이상 |
| 해설 | | | <p>1) 손상도는 콘크리트 라이닝에 대한 것으로 라이닝 두께에 대한 손상된 두께를 말하며, 일반적으로 라이닝 설계두께를 기준으로 하고, 라이닝 측정두께가 있는 경우 이를 기준으로 한다.</p> <p style="text-align: center;">※ 손상도 = d(손상두께)/D(라이닝두께)</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  </div> <p>2) 조적식 라이닝에서 손상두께는 벽돌두께를 기준으로 적용한다.</p> <p>3) 조적식 라이닝인 경우 손상면적은 벽돌크기를 기준으로 하여 산정하도록 한다.</p> <p>4) 손상발생부위는 아치부와 측벽부로 구분하며, 아치부에 손상이 발생하여 낙하위험이 있는 경우 등급을 하향조정한다.</p> | | | | |

표 23. 누수평가 세부기준





| 구분 \ 등급 | a | b | c | d | e |
|---------|---|---|--|---|----|
| | 없음 | 스며 있음 | 떨어 짐 | 흐름 | 분출 |
| 누수 |  |  |  |  | |
| 해설 | <ol style="list-style-type: none"> 1) 누수발생부위는 아치부와 측벽부, 노면으로 구분하며, 아치부에 누수가 발생하여 차량통행에 지장을 주는 경우 등급을 하향조정하도록 한다. 2) 아치부에 발생된 누수가 얼어 고드름이 형성된 경우와 측벽부에 발생된 누수가 얼어서 건축한계를 초과하여 차량통행에 지장을 주는 경우에는 등급을 하향조정하도록 한다. 3) 노면에 토사유출 또는 동결이 발생되어 차량통행에 지장이 될 경우에는 등급을 하향 조정하고, 그 원인을 정밀조사하도록 한다. 4) 누수가 배수공과 시공이음의 결함, 균열, 배면공동, 수막 등의 영향으로 인하여 발생될 경우에는 수압 등에 의한 구조적 결함을 유발시킬수 있는지의 여부 등을 검토할수 있다. | | | | |

표 24. 재질열화 평가 세부기준

| 구분 \ 등급 | a | b | c | d | e |
|---------|---|-------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 박리 | 없음 | 0.5mm미만 | 0.5mm이상 1.0mm미만 | 1.0mm이상 25mm미만 | 25mm이상 이거나 조골재 손실 |
| 박락 | 없음 | 경미한 상태 | 깊이 25mm미만 또는 직경 150mm미만 | 깊이 25mm이상 직경 150mm이상 | 박락이 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태 |
| 백태 | 없음 | 국부적으로 발견 | 여러곳에서 발견 | 심한 상태 | 매우 심하고 범위가 매우 넓은 상태 |
| 철근노출 | 없음 | 없음 | 부분적으로 노출 | 여러곳에서 노출 | 많이 노출되어 철근이 부식됨 |
| 해설 | <ol style="list-style-type: none"> 1) 박리, 박락, 백태는 콘크리트의 재질에 대한 평가로서 경년이나 주변환경영향 등에 따라 열화되는 특성을 나타낸다. 2) 박리는 콘크리트 라이닝의 박리된 깊이를 기준으로 하며, 박락은 콘크리트 박락된 깊이, 직경, 상태 등을 고려하여 판단하도록 한다. 3) 박리·박락이 심한 경우에는 다른 변상조건들과 비교검토하여 그 원인을 조사하도록 한다. 4) 백태의 경우 발생범위와 정도로부터 정성적으로 판단하도록 한다. 5) 철근노출은 철근콘크리트 라이닝인 경우에 적용하며, 심한 부식이 우려되는 경우에는 부식도를 측정하여 철근의 부식상태를 평가하도록 한다. 6) 콘크리트 재료상태를 평가하기 위하여 필요시 콘크리트 강도, 염화물 함유량, 중성화 상태 등에 대한 시험을 실시할 수 있다. | | | | |

표 25. 배수상태 평가 세부기준

| 구 분 | 오 염 됨 | 배수불량 및 막힘 |
|------|---|-----------|
| 결함점수 | 1 | 2 |
| 해 설 | 1) 배수상태는 지하수를 유도하여 배수를 허용하는 배수형 터널의 경우에 한하며, 배수형터널이 아닌 경우에는 전문가의 판단에 따라 별도로 적용하도록 한다. 2) 배수된 물의 함유성분에 의한 오염이 우려되는 경우에는 수질을 조사하여 오염의 원인을 평가하도록 한다. 3) 배수된 물에 토사가 섞여 나오는 경우에는 계속적인 토사유출로 라이닝 배면에 문제가 발생할 가능성이 있으므로 토사유출량과 터널안정성에 대해 정밀조사하도록 한다. | |

표 26. 지반상태 평가 세부기준

| 구 분 | 풍화변질 및 단층파쇄대 | | | |
|------|---|--------|---------------|-------------|
| | 풍화변질 | 영향범위 외 | 단 층 파 쇄 대 | |
| | | | 영향범위 내 | |
| 결함점수 | 1 | 1 | 중·소규모 단층 2 | 대규모 단층 3 |
| 해 설 | 1) 기시공된 터널에서는 주변지반상태를 육안으로 확인하는 것이 쉽지 않으므로 설계 및 시공자료를 참고하여 판단하도록 하며, 안전성 평가시 지반조사를 실시하여 지반 상태를 평가하도록 한다. 2) 지반상태가 터널에 영향을 미치는 범위는 0.5D를 기준으로 한다. 3) 지반의 풍화변질상태는 육안으로 확인할 수 있는 갱구부 주변의 지반이나 노출된 암반으로부터 평가하도록 한다. 4) 터널에 직접적인 영향을 주는 지질구조(단층, 습곡, 선구조선)의 영향은 지질도나 시공자료, 지표지질조사 결과 그리고 필요시 인공위성사진, 항공사진 등을 이용하여 검토하도록 한다. 5) 이완토압, 편토압, 소성압 등으로 인하여 내공변위가 발생한 경우에는 단층파쇄대의 영향범위 내에 해당하는 점수를 부여한다. | | | |

표 27. 갱문상태 평가 세부기준

| 구 분 | 손 상 |
|------|---|
| 결함점수 | 1 |
| 해 설 | 1) 갱구부는 터널의 입출구부로서 차량의 통행에 직접적인 영향을 주기 때문에 갱문상태를 반영하여 손상여부를 평가한다. 2) 갱문의 평가방법은 일반 콘크리트구조물에서의 평가방법에 준하며, 특히 주변지반의 변화상태 등에 유의하여야 한다. 3) 갱문에 심각한 손상이 발생한 경우, 주변 지반조사를 실시하여 손상원인을 규명하도록 한다. |

표 28. 특수조건 평가 세부기준

| 구 분 | 전력구터널, 전차선을 설치한 터널 | | |
|------|---|--------|------|
| | 측벽부 낙수 | 아치부 낙수 | 동결위험 |
| 결함점수 | 1 | 2 | 3 |
| 해 설 | 1) 전력구터널, 전차선을 설치한 터널은 전기를 사용하므로 누전문제에 대한 위험성을 상태평가에 추가 반영하도록 하고, 특히 전차선을 설치한 터널은 동결시 차량운행에 지장을 초래할 수 있으므로 이를 반영한다. 2) 기타 일반적인 터널조건과 다른 특수터널인 경우, 조사자의 판단에 따라 상태평가에 특수조건을 부과하여 가점하도록 한다. | | |

표 29. 터널 상태 등급

| 상태등급 | 결함지수 | 상 태 |
|------|--------------------|--|
| A | $0 \leq F < .15$ | 문제점이 없는 최상의 상태 |
| B | $.15 \leq F < .30$ | 경미한 손상의 양호한 상태 |
| C | $.30 \leq F < .55$ | 보조부재에 손상이 있는 보통의 상태 |
| D | $.55 \leq F < .75$ | 주요 부재에 진전된 노후화(콘크리트의 전단균열, 침하 등)로 긴급한 보수보강이 필요한 상태로 사용제한여부를 판단 |
| E | $.75 \leq F$ | 주요부재에 심각한 노후화 또는 단면손실이 발생하였거나 안전성에 위험이 있어 시설물을 즉각 사용 금지하고 개축이 필요한 상태 |

해 설) A : 문제점이 없는 건전하고 양호한 상태
 B : 경미한 손상, 결함, 열화가 발생하였으나 기능발휘에 지장이 없는 상태로서 적은 양의 보수가 필요할 수 있음
 C : 보통의 손상, 결함, 열화가 발생하여 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요한 상태
 D : 주요부재에 발생한 손상, 결함, 열화로 인하여 안전운행에 지장을 초래할 우려가 있어 사용제한을 검토해야 하며, 시급한 보수·보강이 필요한 상태
 E : 주요부재에 발생한 손상, 결함, 열화로 인하여 안전성에 위험이 있어 사용제한이 시급한 상태로써, 임시조치 후 사용하거나 즉각 시설물의 부분 사용금지 또는 보강·개축이 필요한 상태

가장 대표적인 것을 기준으로 하여 결정하도록 하며, 여러 개소에 나타날 경우에는 등급을 하향조정 하도록 하였다. (표 21 참조)

5.3.2 손 상
(표 22 참조)

5.3.3 누 수
(표 23 참조)

5.3.4 재질열화(박리, 박락, 백태, 철근노출)
(표 24 참조)

5.3.5 배수상태
(표 25 참조)

5.3.6 지반상태
(표 26 참조)

5.3.7 갯문상태
(표 27 참조)

5.3.8 특수조건(추가점수)
(표 28 참조)

5.4 터널 상태평가 대표등급 기준
(표 29 참조)

5.5 터널 상태평가 방법

5.5.1 터널 상태평가 과정

터널 대표등급은 라이닝 상태평가와 터널주변 상태평가를 수행하여 결정하며, 평가과정은 그림 4와 같다.

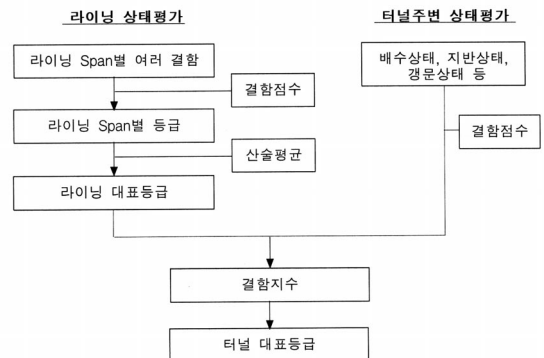
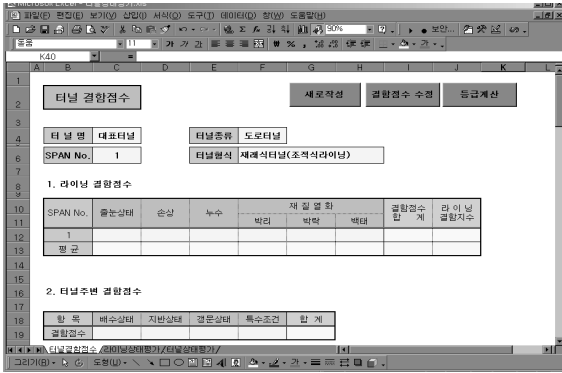


그림 4.

5.5.2 터널 상태평가 프로그램

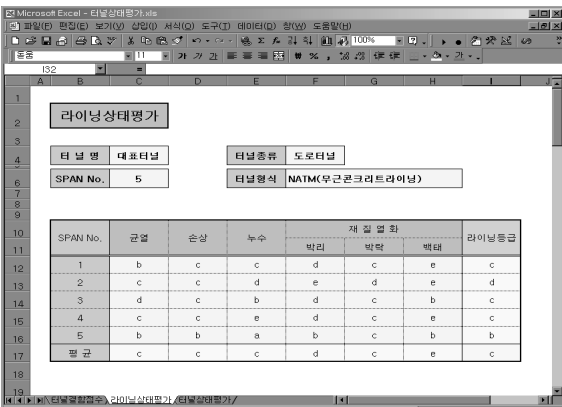
1) 초기상태



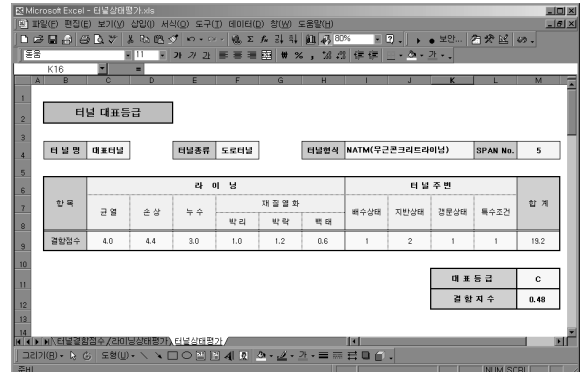
2) 결함점수 입력



3) 라이닝상태평가 결과



4) 터널 대표등급 산정결과



6. 결론

본 연구에서는 지중구조물인 터널의 특수성을 고려하여 터널상태를 객관적으로 평가할 수 있는 체계적인 상태평가방법 및 기준을 개발하였다. 이를 통하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 기존 상태평가방법의 문제점

터널 상태평가방법의 문제점을 분석한 결과, 라이닝 상태평가를 주로 하여 터널구조물에 대한 종합적인 평가가 이루어지지 못했으며, 상태등급구간, 상태등급평가기준, 터널대표등급산정 등에 대한 체계적인 방법이 확립되어 있지 못하여 조사자의 주관이나 경험에 의존하여 객관적인 평가가 이루어지지 못해 객관적이고 정량적인 평가기준 개발이 요구되었다.

2) 국내외 터널 상태평가기준 분석

국내기준과 국외(일본/독일)에서의 상태평가기준을 분석한 결과, 일본의 경우 터널변상의 원인에 따라 평가기준을 적용하고 세부평가기준이 잘 정리되어 있으며, 독일의 경우 라이닝손상 뿐만 아니라 터널주변에 대한 손상상태를 반영하였다. 또한 균열의 경우 국내기준의 균열 보수기준폭이 매우 작은 기준으로 터널의 종류 및 라이닝의 특성에 따른 기준 정립이 필요하다고 판단되었다.

3) 터널 상태평가기준의 정립

① 상태평가요소

라이닝상태와 터널주변상태 그리고 특수조건에 대한 평가항목으로 구성하였다. 라이닝 평가항목은 균열, 손상, 누수, 재질열화로 구분하고, 터널주변요소는 배수상태, 지반상태, 갱문상태로 구분하였으며, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널인 경우와 같은 특수터널에 대한 조건을 추가하였다.

② 상태평가방법

라이닝 평가요소에 대한 평가등급을 5등급으로 하여 제시하고 라이닝 스판별로 기준에 의해 결합점수를 매기고 이를 결합지수화하여 라이닝 스판별로 등급을 산정한 후 이를 평균하여 라이닝에 대한 등급을 산정하였다.

③ 대표등급산정

산정된 라이닝 대표등급에 배수상태, 지반상태, 갱문상태에 대한 결합점수를 합하고 특수조건을 추가하여 이를 결합지수화하여 최종적으로 터널에 대한 대표등급을 산정하였다.

4) 터널 상태평가기준의 특성

① 터널별로 기준적용

터널을 재래식터널, NATM터널, SHIELD터널, 개착식터널로 구분하고 이를 다시 라이닝형태에 따라 세분하여 상태평가기준을 적용하도록 하여 다양한 종류의 터널특성을 반영할 수 있다.

② 터널주변상태 반영

기준방법이 라이닝에 대한 평가로 한정되어 있지만, 본 기준의 경우 터널주변요소에 대한 상태평가항목을 반영하여 지중구조물이라는 터널구조물의 특성을 반영할 수 있다.

③ 터널 특수조건 반영

전력구터널, 전차선을 설치한 터널은 누수가 발생할 경우 다른 터널에 비하여 위험하므로 이를 추가 점수화하여 터널상태평가에 반영하였다. 또한, 여러 가지 터널에 대한 특수조건을 전문가의 판단에 따라 반영하도록 하였다.

④ 세부기준의 점수화

균열, 누수, 손상, 재질열화에 대한 상태를 5등급화하고 이에 대한 점수를 부여하여 각각의 상태평가가 정량화 되도록 하였으며, 터널주변요소에 대한 상태평가도 점수화하여 합리적인 평가가 가능하도록 하였다.

⑤ 객관적인 등급산정

라이닝 대표등급산정 및 터널주변상태산정에 결합점수를 이용하고 이를 결합지수화하여 최종적으로 터널에 대한 대표등급을 산정하여 대표등급을 객관적으로 산정할 수 있다.

⑥ 사용자 프로그램화

터널의 상태등급 및 대표등급산정의 과정을 엑셀프로그램을 이용하여 프로그램화하여 현장조사자들이 쉽고 빠르게 터널에 대한 상태평가를 수행할 수 있다.

5) 터널 상태평가기준의 개선방향

추후 터널 상태평가시 새로운 상태평가 기준의 운영을 통하여 도출되는 문제점을 분석하므로써 개선사항을 도출하여야 한다. 또한 지속적인 추가 보완작업을 통하여 보다 체계적이고 실용적인 평가기준이 될 수 있도록 하고 향후 시스템 개발로의 확장성을 확보하며 추후 세부지침 개정시 기초자료로 활용하도록 한다.

감사의 글

본 연구는 시설안전기술공단 연구과제인 “시설물의 상태평가 기준 정립(터널)”을 (사)한국터널공학회(구 (사)대한터널협회)에서 수행하는 과정에서 얻은 연구결과임을 밝히며, 연구가 가능하도록 연구비를 지원한 시설안전기술공단 관계자에게 감사를 표하는 바이다.

참고문헌

1. 건설교통부 (1999), “터널표준시방서”
2. 대우건설기술연구소 (1996), “터널안전관리를 위한 정밀 안전진단 시스템 개발”

3. 시설안전기술공단 (2000), “안전점검 및 정밀안전진단 세부 지침-터널편”
4. 시설안전기술공단 (1998), “안전점검 및 정밀안전진단 실무 요령(터널편)”
5. 시설안전기술공단 (2001), “터널 유지관리 매뉴얼”
6. 시설안전기술공단 (2001), “터널구조물 상태평가 기준(안)”
- 터널편-
7. 한국건설기술연구원 (1998), “터널의 안전진단 체계정립 및 균열자동측정 시스템 개발”
8. 한국건설기술연구원 (2001), “터널구조물 상태평가 자동화 시스템 개발”
9. 철도청 (1998), “변상터널의 보강공법에 관한 연구”

