RD-11-E6-022

안전점검 및 정밀안전진단
세부지침해설서(터널)

2011. 12.

국토해양부

한국시설안전공단

머 리 말

우리나라는 '60년대 이후의 급속한 경제성장 과정에서 대부분의 시설물들이 “공기단축” 과 “공사비절감” 위주로 건설되어 선진국의 시설물에 비해 시작부터 안전에 취약할 수밖에 없었습니다. 그럼에도 불구하고 사용 중 유지관리 마저 소홀히 하여 '90년대 들어 성수대교와 삼풍백화점 붕괴사고 등의 값비싼 대가를 치른 경험이 있습니다.

이에 따라 정부에서는 1995년「시설물의 안전관리에 관한 특별법」을 제정하여 시설물의 안전관리를 시행하고 있으며, 특히 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 업무를 표준화하기 위하여 국토해양부와 우리공단은 교량·댐 등 12개 국가 주요시설물의 점검·진단 업무의 실시방법 및 절차 등을 규정한 세부지침을 마련하였습니다.

이 해설서는 2010.12월 출간된 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침」중 시설물편 제2장 터널에 대한 바른 이해와 적정한 적용에 도움이 되도록 하기 위하여 작성되었습니다. 금년에는 공통편과 시설물편 6종(교량, 터널, 댐, 항만, 상수도, 건축)의 해설서를 발간하며, 2012년에는 시설물편 나머지 6종(하구둑, 수문, 제방, 하수처리장, 옹벽, 절토사면)의 해설서를 계속 발간할 예정입니다.

아울러 본 해설서는 초보자가 알기 쉽도록 그림과 사진 등을 많이 포함하여 편집 구성에 최선을 다하였으나 미흡한 점도 많을 것입니다. 앞으로 계속 보완 발전시켜 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단에 유용하게 활용될 수 있도록 최선을 다하겠습니다.

끝으로 본 해설서 개발작업에 참여하여 주신 직원과 자문위원 여러분들의 노고에 깊은 감사를 드리는 바입니다.

2011년 12월

한국시설안전공단 이사장 김 경 수

제 목 차 례

2.1 관리 일반

2.1.1 적용범위 ····· 2-1

2.1.2 용어정의 ····· 2-2

2.1.3 안전점검 및 정밀안전진단 대상 시설 ····· 2-3

2.1.4 중대한 결함의 종류 ····· 2-5

2.2 현장조사

2.2.1 시설물의 점검 사항 ····· 2-7

2.2.2 시설물 현장조사 요령 ····· 2-74

2.3 재료시험 항목 및 기준수량

2.3.1 정밀점검 ····· 2-92

2.3.2 정밀안전진단 ····· 2-96

2.4 상태평가 기준 및 방법

2.4.1 상태평가 기준 ····· 2-102

2.4.2 상태평가 항목 및 기준 ····· 2-112

2.4.3 상태평가 결과 산정방법 ····· 2-119

2.5 안전성평가 기준 및 방법

2.5.1 일반 ····· 2-124

2.5.2 안전성평가 기준 ····· 2-128

2.5.3 안전성평가 결과 산정방법 ····· 2-130

2.6 종합평가 기준 및 방법

2.6.1 종합평가 기준 ····· 2-134

2.6.2 종합평가 결과 산정방법 ····· 2-134

2.7 보수·보강 방법

2.7.1 배면공동 보수 ····· 2-137
2.7.2 라이닝 보강 ····· 2-138
2.7.3 백태 ····· 2-138
2.7.4 동해 ····· 2-139
2.7.5 누수 ····· 2-139
2.7.6 라이닝의 재료열화 ····· 2-140
2.7.7 진동 및 소음에 따른 영향 ····· 2-142
2.7.8 터널에 근접한 구조물 시공 시 영향 ····· 2-144

부록 A. 과업지시서 예시 ····· 2-147
B. 사전검토 보고서 예시 ····· 2-163

제2장 터널

2.1 관리일반

2.2 현장조사

2.3 재료시험 항목 및 수량

2.4 상태평가 기준 및 방법

2.5 안전성평가 기준 및 방법

2.6 종합평가 기준 및 방법

2.7 보수·보강 방법

제2장 터널

2.1 관리 일반

2.1.1 적용 범위

본 장은 「법」 제2조(정의) 및 「영」 제2조(시설물의 범위)의 규정에서 정하고 있는 시설물 중 터널 및 지하차도 시설물에 적용한다.

○ 1종 시설물

- 도로터널
  - ·연장 1천m 이상의 터널
  - ·3차로 이상의 터널
- 철도터널
  - ·고속철도 터널
  - ·도시철도 터널
  - ·일반철도 연장 1천m 이상의 터널
- 지하차도
  - ·터널구간의 연장 500m 이상인 지하차도

○ 2종시설물

- 도로터널
  - ·고속국도, 일반국도 및 특별시도, 광역시도의 터널
  - ·연장 500m 이상의 지방도, 시도, 군도, 구도의 터널
- 철도터널
  - ·일반철도로 특별시 또는 광역시 안에 있는 터널
- 지하차도
  - ·터널구간의 연장이 100m 이상인 지하차도

터널 및 지하차도 시설물의 특성에 따라 본 장의 서식을 적절히 응용하여 안전점검 및 정밀안전진단을 실시하며, 본 장에서 제시되지 않은 사항은 다음의 법규나 기준을 따른다.

○ 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
○ 콘크리트 구조설계기준
○ 콘크리트 표준시방서
○ 터널관련 설계기준 및 표준시방서
○ 지하차도관련 설계기준 및 표준시방서
○ 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)

한편, 본 장에서 기술된 내용과 다르더라도 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 발주자와 사전협의하여 적용할 수 있다.

【해설】

1. 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」“이하 시특법” 시행령[별표1] “1종시설물 및 2종시설물의 범위”(제2조제1항관련)의 기준으로 도로터널, 철도터널 및 지하차도를 정의한다.
2. 「시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령」제2장 시설물 안전조치 등에 제10조1항과 2항관련 도로터널 및 철도터널을 분류한다.

2.1.2 용어 정의

○ 터널
지표면 하에 축조되는 도로나 공간으로 이용하는 지하구조물로서 단면적 2㎡이상의 것을 말한다.
○ 도로 터널
도로법에 의한 도로상의 터널
○ 고속철도 터널
고속철도법에 의한 철도상의 터널
○ 광역철도 터널
철도건설법에 의한 광역철도상의 터널
○ 도시철도 터널
도시철도법에 의하여 건설 또는 관리하는 철도상의 터널로서 터널의 연장은 도시철도 건설규칙에서 규정한 정거장이 포함된 지하터널 입출구부를 기준으로 함
○ 일반철도 터널
철도법에 의한 철도상의 터널
○ 지하구조물
지표면의 하부에 설치된 구조물
단, 지상건축물과 연결된 지하구조물은 건축물로 본다.

【해설】

1. “도로“란 「도로법」 제 8조에 따른 도로를 말한다.
2. 용어 정의(「도로설계편람 제6편 터널」, 「시설물 유지관리 매뉴얼 터널편」)
   (1) 터널이란 도로, 철도 또는 수로 등 지하공간을 활용해 통행 및 이동을 할 수 있도록 지중에 축조하는 지하구조물로 정의할 수 있으며, 굴착터널의 경우에는 지반자체를 구조체로 활용하는 특징을, 개착터널의 경우에는 지층 및 주변지반의 환경적인 특성에 직접적인 영향을 받는 특징을 가지고 있다.

2.1.3 안전점검 및 정밀안전진단 대상 시설

터널시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 범위에 대한 세부적인 대상시설은 [표 2.1]과 같다.

① 기본 시설물을 제외한 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단은 해당 시설물(건축물, 옹벽 등)에 따라 실시하여야 한다.

② 대상 시설물은 안전점검 및 정밀안전진단 대가기준에서 해당 시설물에 따라 예산을 확보하여야 한다.

③ 부대 시설물이 「영」 제2조제1항에 따른 1종·2종 시설물에 해당되는 경우에는 「법」 제6조에 따라 정밀점검을 실시하여야 한다.

[표 2.1] 터널 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 대상시설 범위

구 분	시설물명	점검 및 진단 실시범위			비 고
		정기점검	정밀점검	정밀안전진단	
기본 시설물	◦본선라이닝	○	○	○	
	◦갱문	○	○	○	
	◦개착터널	○	○	○	
	◦지하차도	○	○	○	
	◦지하정거장	○	○	○	
부대 시설물	◦연직갱 및 경사갱	○		○	
	◦환기구	○		○	
	◦피난연락갱	○		○	
	◦연결터널(환기시설)	○		○	
	◦갱구부옹벽	○		○	

【해설】

1 점검계획

(1) 일 반

점검계획은 현장에서의 예비조사 후에 수립하며 조사항목은 아래와 같다.

① 현장여건 및 문제점

② 시설관리자 및 주민의견 청취

③ 제반시설 관련자료

이때 도면 및 자료를 개략 검토한 후에 조사를 수행함으로써 구조물의 형상이나 세부사항들에 대한 예비검증이 되도록 한다.

(2) 점검계획 수립

예비조사시 수집된 자료의 검토 후 점검계획을 수립하며 다음 사항이 포함되어야 한다.

① 조사범위 및 항목결정

(가) 각 분야별 조사범위와 세부항목을 전체 점검계획에 맞추어 결정

(나) 책임기술자가 필요하다고 판단되는 경우 별도조사항목 포함

② 기존 점검자료 검토

(가) 기발견된 결함의 확인을 위해 검토

③ 분야별 소요인원 및 구성

(가) 분야별 총 소요인원을 판단하여 가용인력을 판단, 투입계획수립

④ 재료시험 실시에 대한 적정성여부 판단

⑤ 점검기간 및 계획된 작업시간 예측

⑥ 점검범위 및 안전성에 대한 판단

⑦ 점검장비 선정

재료시험에 대한 장비, 측량장비, 토질, 시험 장비를 준비할 때에는 분야별 세부조사항목에 부합되는 장비를 준비한다. 또한, 접근장비는 육안조사 및 점검장비에 의한 측정이 가능 하도록 사다리, 램프, 리프트카, 비계 등을 준비한다. 이러한 장비선정시에 다음 항목을 고려한다.

(가) 접근장비를 안전하게 지지하는지 여부

(나) 장비위치에 따른 교통통제 필요성

(다) 장비설치에 따른 지장물 존재여부

(라) 점검시간을 고려한 접근장비 선정

⑧ 접근방법 결정

(가) 점검은 비계, 리프트카, 사다리 설치 등 현장여건에 따라 안전을 고려해 최선의 방법을 선택한다.

⑨ 점검종사자 안전

(가) 점검업무 및 접근방법과 관련하여 점검자는 안전사고 예방에 유의한다.

⑩ 기타 점검자와 관리주체가 필요하다고 판단되는 사항

2.1.4 중대한 결함의 정도

터널 시설물에서 대통령령이 정하는 중대한 결함의 적용 범위는 다음과 같다. 다만, 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 철근콘크리트의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실
 ○ 2.4.2절의 상태평가 항목 및 기준의 재질변화에서 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
 ○ 2.4.2절의 상태평가 항목 및 기준의 균열에서 진행성 균열에 대한 상태평가 기준이 'd' 이하인 경우, 고정 균열은 면적율이 20%이상으로 상태평가 기준이 'e'인 경우
 ○ 2.4.2절의 상태평가 항목 및 기준의 파손 및 손상에서 면적율이 20%이상으로 상태평가 기준이 'd' 이하인 경우
4) 복공(라이닝)부위 심한 누수 및 변형
 ○ 2.4.2절의 상태평가 항목 및 기준의 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

【해설】

1.「시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령」제2장 시설물의 안전조치 등에 제12조 (중대한 결함) 법 제11조제1항 및 제2항에서 “대통령으로 정하는 중대한 결함”이란 다음 각 호의 결함을 말한다.
2.「시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령」[별표 5] “시설물 구조안전상 주요부위의 중대한 결함”(제13조 관련) 터널에 주요부위의 중대한 결함을 말한다.
3. 시특법 제11조에 따라 안전점검 또는 정밀안전진단을 실시한 자는 지체없이 그 결과를 관리주체에게 통보하여야 하며, 영 제12조의 ‘중대한 결함’이 발생한 경우에는 그 내용을 특별자치도지사, 시장, 군수 또는 구청장에게도 통보하여야 한다.
4. 시특법 영 제12조의 ‘중대한 결함’은 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침」공통편 3.1.7항의 내용과 같다.
5. 특별자치도지사, 시장, 군수, 또는 구청장에 통보를 하는 경우 그 통보 내용에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.
   1) 시설물의 명칭 및 소재지
   2) 관리주체의 상호, 명칭, 성명(법인인 경우에는 대표자의 성명을 말한다) 및 주소
   3) 안전점검 또는 정밀안전진단의 실시기간과 실시자
   4) 시설물의 상태별 등급과 중대한 결함 내용
   5) 관리주체가 조치하여야 할 사항
   6) 그 밖에 안전관리에 필요한 사항

2.2 현장조사

2.2.1 시설물의 점검 사항

가. 일반

가. 일반

시설물의 상태평가 시 점검사항은 구조물의 특성에 따라 다를 수 있으므로 수정, 보완하여 사용한다. 각 세부시설별 점검 사항은 평가결과를 기초로 판단하며, 이는 점검부위별 각각의 점검사항에 대한 주요 손상상태를 파악하는데 활용할 수 있다.

터널 시공방법 및 라이닝의 재질에 따라 터널을 분류하면 [그림 2.1]과 같다.

- ■ 터널분류
  - 재래식터널
    - 조적식 라이닝
    - 콘크리트 라이닝
  - NATM터널
    - 무근콘크리트 라이닝
    - 철근콘크리트 라이닝
  - SHIELD터널
    - 콘크리트 세그먼트 라이닝
  - 개착터널(지하차도, 지하정거장, 지하역사) — 철근콘크리트

[그림 2.1] 터널 라이닝 시공방법에 따른 터널 분류

《참고사항》

1. 재래식 터널(ASSM)

(1) 개요

일반적으로 재래식공법(American Steel Support Method)은 산악지형 등에 갱구를 설치하고 암반이나 토사 등의 지반을 강지보재에 의해 지지하면서 굴착하고, 최종적으로 라이닝을 설치하여 완성하는 공법을 가리킨다. 국내 대부분의 철도터널이 이 공법에 의해 시공된 터널들로서 전단면굴착, 상부반단면굴착 등 터널을 형성하는 주변지반의 여건에 따라 다양한 시공법들이 적용된다.

(2) 굴착 방법

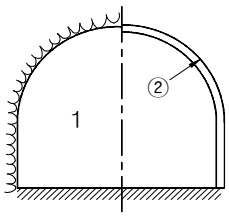
① 도갱을 굴착하지 않는 경우

(가) 전단면 굴착

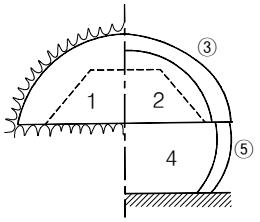
전단면굴착방법은 도갱을 이용하지 않고 터널의 전단면을 동시에 굴착하는 방법으로서 [해설 그림 2.2.1]과 같다. 굴착 후 지보공을 세울 때까지의 기간에 막장의 자립이 가능한 경암질이 아니면 이 방법의 채택은 곤란하고 일반적으로 탄성파속도가 5km/sec 이상의 양호한 지질에 대해서 적용할 수 있다. 또 대형의 시공기계를 사용할 수가 있으므로 굴착속도가 빠르지만 시공 중에 불량한 지질이 나타날 때에 다른 방법으로 변경이 어렵고 또 큰 단면인 경우에는 강재 지보공을 사용해야 하므로 공사비도 증대되고, 설치에도 시간이 많이 소요된다.

(나) 상부반단면 굴착

상부반단면 굴착을 한 후 하반부의 굴착을 실시하는 방법으로서, 비교적 지질이 좋고 용수량이 작은 터널이나 연장이 짧은 경우에 많이 채택된다. 예를 들어 부분적으로 지질이 나빠져도 상부반단면링부를 선진 굴착하여 강재 지보공을 세우는 링굴착방법으로 대체하는 응급처치를 할 수 있다. 또 버력운반에도 트럭으로 할 수 있다.



[해설 그림 2.2.1] 전단면 굴착공법



[해설 그림 2.2.2] 상부반단면 굴착공법

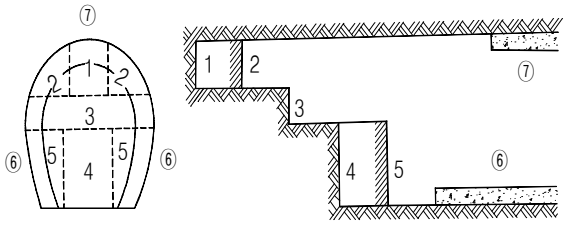
② 도갱을 굴착하는 경우

(가) 정설도갱식 굴착(벨기에식, 일본식)

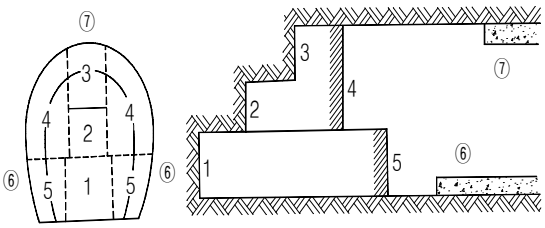
터널의 상부에 도갱을 굴착한 후에 이를 확장하고 이어서 아래 방향으로 점점 넓혀가는 방법으로서 넓히기를 할 때의 구분이나 라이닝의 순서에 다소의 차이로 여러 가지 명칭이 붙는다. 벤치식은 버력반출이 곤란하나 단면이 크고 강력한 기계를 사용할 수도 있다. 일본식, 벨기에식은 본 바닥이 토사인 연약한 경우에 적합하다([해설 그림 2.2.3]).

(나) 저설도갱식 굴착(이태리식, 오스트리아식, 신오스트리아식)

도갱을 터널 저부에 굴착한 후 이를 확장하고 상부로 점차 넓혀가거나 반대로 도갱에서 상반부 단면의 넓히기를 실시한 후 저부의 넓히기를 하는 등 방법에 따라 여러 가지 명칭이 있다. 저설도갱식은 작업할 때 배수나 넓히기 작업장소의 증설이 용이하고 갱내 설비의 이전이 불필요하며 버력 싣기에 중력을 이용하는 등의 이점이 있으나 비교적 지질이 양호한 경우에 유리하다([해설 그림 2.2.4]).



[해설 그림 2.2.3] 정설도갱식 굴착공법



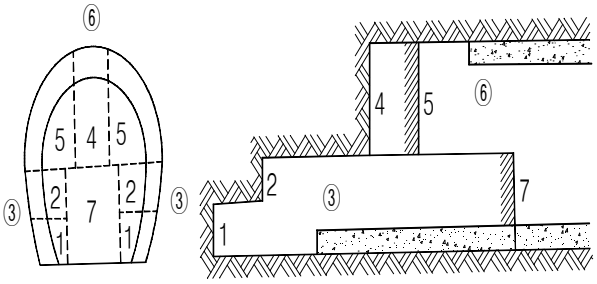
[해설 그림 2.2.4] 저설도갱식 굴착공법

(다) 측벽도갱식(독일식)

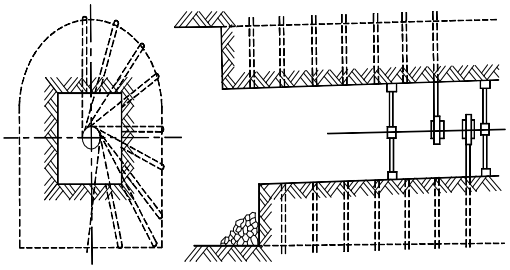
측벽도갱은 좌우측벽에 도갱을 굴착, 측벽 라이닝을 설치한 후 아치부의 넓히기와 라이닝을 설치하는 방법으로서, 단면이 크고 지질이 나쁜 경우에 사용한다([해설 그림 2.2.5]).

(라) 중앙도갱식(Center heading)

중앙도갱은 중앙부에 도갱을 굴착하여 여기서부터 방사상으로 천공, 발파하여 전단면굴착하는 방법으로서, 지반조건이 대단히 양호한 곳에서 실시한다. 그러나 최근 이와 같은 양질의 암질에는 전단면 굴착방법을 택하고 있다([해설 그림 2.2.6]).



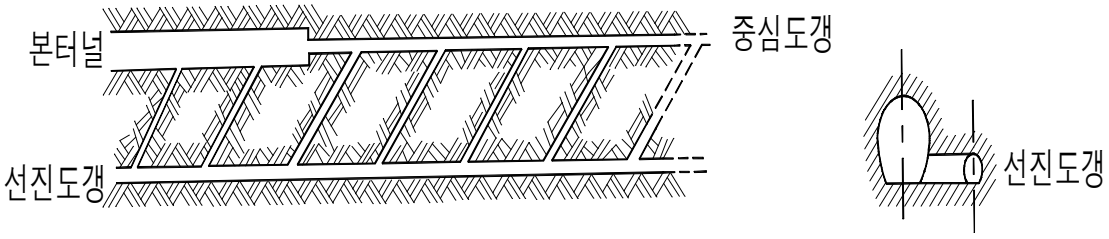
[해설 그림 2.2.5] 측벽도갱식 굴착공법



[해설 그림 2.2.6] 중앙도갱식 굴착공법

(마) 진도갱식(Pilot drift) 공법

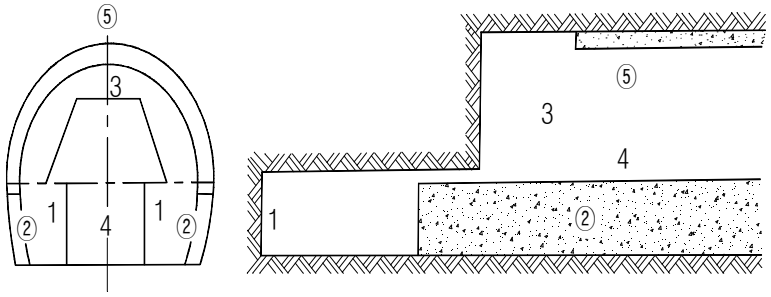
도갱을 본 터널에 평행하게 굴착하고 여기서부터 연락갱을 굴착하여 본 터널을 완성시키는 방법으로서 도갱은 버력반출, 재료운반, 환기, 배수 등에 이용하고 해저터널이나 장대터널 등에 많이 채택된다([해설 그림 2.2.7])



[해설 그림 2.2.7] 선진도갱식 굴착공법

(바) 링컷공법(Ring cut method)

연약한 지질인 경우 상부반단면의 굴착으로 막장의 붕괴를 막기 어려울 때에 아치부 지보공을 설치할 최소공간을 굴착한 후에 아치부의 지보공을 설치하고 반단면을 굴착하는 방법이다. 이때 막장의 높이는 아치 지보공의 삽입이 가능하도록 낮게 시공한다. 또 도갱은 저설식과 측벽식의 두 종류이다. 최근 링컷공법은 터널공법으로써 여러 시공사례가 있고 안전성도 높은 공법이지만 공사비 측면에서는 다소 고가이다([해설 그림 2.2.8]).



[해설 그림 2.2.8] 링컷 굴착공법

(3) 지보공

지보공은 터널의 라이닝이 그 강도를 발휘하게 될 때까지 굴착면의 붕괴를 방지하는 목적으로 굴착면에 접하여 설치하는 구조물로서 지질, 터널단면의 크기, 형상, 굴착방법 등에 따라 지보 구조가 다르다.

지보공은 구조상 기둥식과 아치식이 있고 또 재료에서 목재와 강재로 분류한다.

① 목재 지보공

터널이 위치한 주변지반의 상태가 양호하고 지층을 구성하는 암질이 좋은 경우에 적용하는 맞대기식 지보공과, 터널 주변지반이 연약한 경우에는 후광양식 지보공이 주로 사용되며, 그 중간에는 가지보식 지보공이 사용된다.

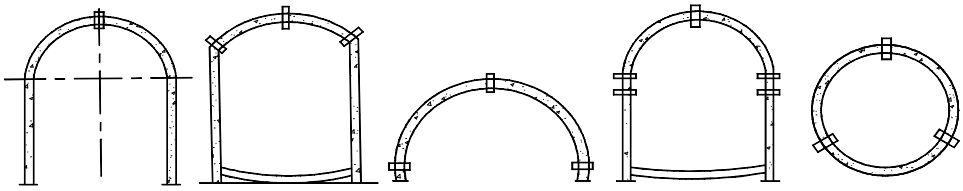
② 강재지보공

강재지보공은 보통 강아치식 지보공을 말하며, 주로 토사에서 중경암 정도의 주변지반을 가진 터널에 적용되는 지보공이다.

[해설 그림 2.2.9]와 같이 여러 가지 형상의 강지보공이 있으나 가장 널리 사용하고 있는 것은 2 Piece형이다.

상부반단면공법이나 저설도갱 선진상부반단면공법은 (c)형이 사용된다. 큰 측압이 작용할 경우에는 인버트 스트럿을 한 (b)형을 사용하고, 대단면 터널에서는 4 Piece형인 (d)형을 사용한다.

강아치 지보공의 역할은 지보부재의 아치효과에 의해 굴착지반을 지지하고 터널 주변의 처짐을 최소화하려는 것으로서, 지보공을 굴착면에 밀착시켜 공간이 생기지 않도록 해야 한다. 이러한 이유로 지보공과 굴착면 사이에 끼움판을 삽입하여 그 사이에 쐐기를 넣어 조이기도 한다. 또한 지보공과 굴착면 사이에 끼움판을 삽입하여 낙석을 방지하는 공법도 있다.



(a) 2piecet식 (b) 뼈대통식 (c) 반원판뼈대식 (d) 반원판통뼈대식 (e) 원형뼈대식

[해설 그림 2.2.9] 강아치 지보공

(4) 라이닝

일반적으로 터널의 라이닝은 굴착이 완료된 직후 굴착면의 안정화 작업이 이루어지고 실시하는 지보구조를 가진 콘크리트 시공을 말하며, 굴착면의 암질이 양호한 경우에는 영구 구조물로서의 역할도 할 수 있다.

공용중인 다수의 터널이 재래식 터널인 철도터널의 경우 일본에서는 현장 타설 콘크리트를 이용한 터널 라이닝의 두께는 [해설 표 2.2.1]을 표준으로 하고 있으며 300mm라는 최소 라이닝 두께는 콘크리트 타설의 시공성에 의해 결정된다. 일반적으로 라이닝의 두께가 증가하게 되면 소정의 내공단면을 얻기 위해 굴착단면을 크게 해야 할 뿐만 아니라 적정 두께 이상의 라이닝 두께는 오히려 역효과 또는 비경제적이므로 특별한 경우를 제외하고는 단선에서 600mm, 복선에서는 750mm를 최대 라이닝 두께로 하는 것이 보통이다.

[해설 표 2.2.1] 일본 철도터널의 표준 라이닝 두께(mm)

구분 / 단면	I	II	III	IV
단 선	600	450	450	300
복 선	750	600	600	450

라이닝에 집중하중이나 편압이 작용하고 휨응력이 작용하는 경우에 라이닝의 두께를 증가하는 것은 무의미하므로 뒷채움 주입을 충분하게 시행하거나 인버트 라이닝을 설치하여 이것에 대처하는 것이 오히려 경제적일 수 있다.

철근콘크리트가 이용되는 경우는 과도한 지중응력을 받는 구간이거나 개착터널 등이 일반적이지만 편압구간이나 지진시 피해 우려가 있는 갱구부에도 종종 적용된다.

주의하여야 할 사항은 상기와 같이 아무리 설계가 이상적이라고 해도 시공이 제대로 이루어지지 않으면 역학적 구조물로서는 불합격이 되는 경우가 많다는 점이며, 현장타설콘크리트에 의한 라이닝의 경우에는 아치부와 역권공법(아치를 먼저 타설하고 그 후에 측벽 콘크리트를 타설하는 방법)에 의한 경우 아치부와 측벽부의 시공이음부에 시공불량이 발생하기 쉽다.

또한 재래식 터널의 경우 라이닝의 두께가 부족하거나 혹은 두께가 충분하여도 굴착면의 큰 여굴로 인해 공동이 형성되는 경우가 많으므로 물리탐사기법을 이용해 이에 대한 조사를 면밀히 수행하여야 할 것이다.

2. NATM 터널

(1) 개요

터널 시공법 중 대표적인 공법이라 할 수 있는 NATM(New Austrian Tunnelling Method)은 굴착면 주변 지반에 링(ring)모양의 지지구조체 형성을 꾀하고자 하는 공법으로서, 암반의 지질공학적인 거동을 검토하여 적절한 시기에 정확한 지보공을 시공할 수 있도록 하는 것과 단면의 폐합, 계측을 통한 변형의 지속적인 관리를 통해 경제적으로 지보구조를 최적화하여야 한다. 이를 구체적으로 실현하기 위해서는 암반의 거동을 파악하기 위한 계측이나 암반 역학적인 특성을 검토해야 하는데, NATM에 사용하는 지보공은 터널 주변의 지반이 가지고 있는 잠재적인 결함을 보강하고 원지반의 강도를 적극적으로 이용하여 사용된다. 따라서 NATM 터널이 의도하는 것은 가장 적합한 지보구조를 채택하여 지반의 이완을 억제하고 지반이 지닌 강도를 보전함으로써 불필요한 공사를 줄이고 비용을 절감하면서도 안전성을 확보하는데 있다고 할 수 있다.

(2) NATM의 특징 및 장점

① 암반의 이완 억제

굴착 후 바로 숏크리트를 암반에 밀착시켜 시공함으로서 풍화나 약화에 따른 암반의 변형, 이완을 최소한으로 억제할 수가 있다.

② 라이닝 배면의 공극 감소

굴착직후에 암반에 밀착시켜 숏크리트를 시공하기 때문에 콘크리트 타설 시에는 쐐기목 등의 장애물이 없어서 천장부의 충전에 주의한다면 암반과 밀착된 라이닝 콘크리트를 타설할 수가 있다.

③ 강재지보공, 라이닝 등의 지보패턴의 설계 및 시공

암반역학에 근거한 계산을 실시함과 동시에 시공중의 계측에 의해 암반의 안정성, 지보패턴 등을 점검하여 설계, 시공에 반영한다. 결국 경험적이면서 합리적인 설계법을 채택할 수가 있다.

④ 강재지보공의 내하력(지지력)

숏크리트, 록볼트, 강재지보 등을 조합한 비교적 가굴성이 있는 1차 라이닝을 사용하므로 지반의 토압을 어느 정도 저하시켜가면서 지반의 지보능력을 최대한으로 발휘할 수가 있다. 결국 숏크리트, 록볼트 등에 의해 굴착면에 구속압을 부여함으로서 암반의 내하능력을 증가시킬 수가 있다.

또한 토피가 크고 암반이 연약한 경우 혹은 팽창성 암반에서는 숏크리트에 틈새(slit)를 만들어 암반의 변형을 어느 정도 허용하기 때문에 큰 압력을 해방시키므로 작은 지보로 터널을 안정시킬 수가 있다.

⑤ 인버트(invert)

굴착작업의 최종단계에서 인버트가 타설됨으로 조기에 링 폐합이 가능하여 굴착면의 변형을 억제할 수 있다.

⑥ 터널의 방수

숏크리트와 라이닝 사이에 방수 시트 등을 삽입함으로써 터널의 지수성을 높여 누수가 적은 터널이 될 수 있다. 또한 한랭지에서의 동결피해, 고드름 발생 등

도 방지할수 있다. NATM의 최대효과로 산악터널에서 누수를 막을 수 있다고 보는 견해도 있다.

⑦ 굴착의 진척에 따른 변형의 발생 억제

숏크리트와 록볼트 등의 지보단계에서 계측을 실시하며 원칙적으로 변형이 수렴한 것을 확인한 후에 라이닝을 타설한다. 변형이 수렴하지 않은 경우에는 계측에 의해 지보단계에서의 보강이 강화된 라이닝의 시공이 가능하다.

⑧ 링폐합을 통한 침하 억제

암반에 밀착한 지보구조물 전단면을 조기에 폐합하게 되면 토피가 얕은 지반의 터널에서도 지표면의 침하를 최대한 억제할 수 있다.

⑨ 시공법의 변경

지질의 변화에 대응하기 쉽고, 팽창성 지반, 토사지반으로부터 경암 암반에 이르기까지 유사성이 있는 시공법이 채택되므로, 가령 암반 조건이 복잡하게 변화하는 터널에서도 지보패턴이나 시공시기 등을 변화시키는 것 외에도 굴착공법, 투입기기의 부분적 전환에 유연하게 대처할 수 있다. 더욱이 보조공법, 특수공법의 개발 및 개선으로 한층 시공법의 변경이 편리해지고 있다.

⑩ 1회의 굴착길이 조정

재래식공법에서는 쐐기의 강도 등에 의하여 지보공의 간격이 제한되므로 1회의 굴착길이가 일반적으로 1.5m로 한정되어 있으나, NATM에서는 암반에 밀착한 지보가 굴착직후에 시공됨으로 같은 암반조건 하에 있다면 막장 및 부석에 대한 안정성이 높아 막장의 자립성에 따라 시공능률이 좋은 경우에는 1회 굴착길이를 길게 할 수 있어 굴진률 향상에 기여하게 된다.

(3) NATM의 시공

① 굴착공법

굴착면에서 바라본 NATM의 최대 특징은 종래 공법과 비교할 때 대단면 굴착이 가능하다는 것과 단면분할이나 형상변경이 용이하다는 것이다. 따라서, 합리적·경제적인 시공을 실시하기 위해서는 이러한 특성을 충분히 활용하는 것이 유효하다고 생각된다.

굴착공법의 선정 시에는

(가) 지형·지질·피복두께

(나) 용수·파쇄대의 유무와 정도

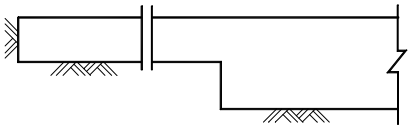
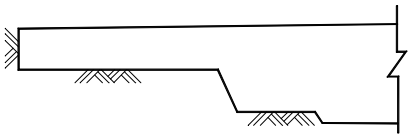
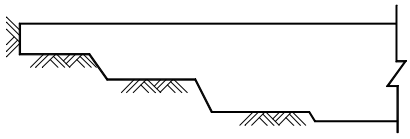
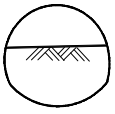
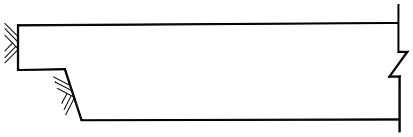
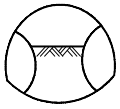
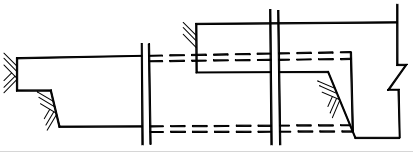
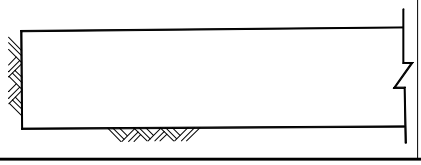
(다) 터널형상, 선형, 경사, 연장 등의 공사규모,

(라) 공사기간

(마) 폐석장 조건, 주변환경의 조건 등

고려하되 동시에, 특히 시공법・경제성에 영향을 미치는 막장의 자립성, 암반의 지지력, 지표침하의 허용치 등을 충분히 조사하는 것이 중요하다. 본 공법에서의 대표적인 굴착공법과 그 적용조건은 다음과 같다.

[해설 표 2.2.2] NATM터널의 굴착공법

굴 착 공 법	공 법 개 요		적 용 조 건
	횡 단 면	종 단 면	
롱 벤치컷공법			비교적 안정된 지반으로 굴착도중에 인버트 폐합이 필요없는 경우
숏 벤치컷공법			NATM의 표준굴착공법, 막장으로부터 30m이내 또는 30일 이내에 폐합시킴. 토사로부터 팽창성 지반에 이르기까지 적용됨
다단 벤치컷공법			숏벤치컷 공법에서 막장자립이 곤란한 경우, 지질이 연약한 경우, 최상단에 지보공이 필요함
미니 벤치컷공법			지표의 침하를 억제하는 경우, 또는 팽창성 지반에서 조기에 단면폐합을 실시하는 경우
사이드파일롯 공법			대단면의 터널에서 지반의 지지력이 작은 경우
전단면공법			복선단면(60m^2)에서는 대단히 양호한 지반, 소단면에서는 안정된 지반인 경우

② 인버트 콘크리트 라이닝(Invert Concrete Lining)의 시공

NATM에서는 통상적으로 인버트 콘크리트 라이닝(이하 인버트)을 시공한다. 이와 같이 막장에서 인버트에 의한 링폐합까지의 시간이 설계 상에서 어느 정도 결정된다. 재래공법일 때 인버트는 아치부 및 측벽부의 라이닝이 완료된 터널공사의 최종단계에서 인버트가 시공되는 경우가 많은데 비해 NATM에서는 막장(Face)의 굴착과 병행하여 인버트를 시공하여 나가는 것으로 상응한 배려가 필요하다. 또한 인버트의 시공에 있어서 안전성에 가장 중요한 영향을 미치는 것은 몇 m의 인버트를 한꺼번에 시공할 수 있느냐는 것에 있다. 바꿔 말하면 바닥면을 굴착하여 인버트를 타설할 때까지의 기간이 터널에 있어서 가장 불안정한 기간이기 때문이다. 지질조건에 따라서는 원지반의 자립시간이 짧고, 인버트를 굴착하면 라이닝의 침하나 측벽 압출이 걱정되는 이러한 경우에는 몇 m씩 굴착하고 바로 보통 콘크리트 또는 숏크리트로 인버트 아치를 만든다. 이것은 개방되어 있는 시간을 짧게 하는 것과 굴착시간의 전후를 숏크리트 쉘(shell)로 일시 지보하는 결과를 기대하는 것에 있다. 이 경우에는,

(가) 일주간 내에 몇 차례 막장굴착을 중지하고 인버트를 시공을 한다.
(나) 측벽과 동시에 바닥부를 굴착을 하고 숏크리트로 인버트를 시공한다.
(다) Belt conveyer나 drain loader로 버력을 처리하고, 그 아래에서 인버트부의 굴착 및 콘크리트 타설을 실시한다.

자립시간이 상당히 긴 원지반에서는 NATM의 지보재가 원지반에 밀착되어 있으며, 더욱이 록볼트에 의해 원지반과 봉합되어 있으므로 수십 m이상의 구간을 한번에 굴착하여도 안정되어 있는 경우가 있다. 이러할 때에는 한달에 1회 또는 2회, 휴일 전에 인버트 부분의 굴착, 콘크리트를 타설하여 휴일 중에 콘크리트를 양생할 수가 있다. 또한 폭 10m 정도의 터널에서는 중앙을 분할하여 좌우 번갈아 가며 인버트를 시공하기도 한다. 이러한 때에는 bench 굴착도 좌우로 나누어서 실시한다.

③ 숏크리트(shotcrete)의 시공

숏크리트는 다른 지보공과 비교해서 시공단면의 크기나 시공시기에 제약이 적고, 굴착 후 즉각 형틀 등을 사용하지 않고 시공할 수가 있다.
빠른 시기에 시공된 숏크리트는 암반의 초기 느슨함을 억제하고, spalling 등을 제어할 수 있기 때문에 막장작업의 안전성을 향상시키는 지보효과가 있다. 따라서, 굴착면을 덮는 통상의 뿜어붙이기 뿐만 아니라 막장의 자립성을 높이기 위한 막장면 뿜어붙이기나, 빠른 시기에 단면폐합을 도모하기 위한 가설 인버트 등에도 사용되는 경우가 있다.

(가) 시공시기
지반을 조기에 폐합하고, 초기변위를 억제하기 위하여 굴착 후 가능한 한 빨리 시공한다.

(나) 숏크리트 노즐(nozzle)의 각도
숏크리트의 리바운드율을 감소시키기 위해서는 노즐각도와 시공면과의 거리가 중요하다. 즉, 노즐각도는 시공면에 직각으로 하되 노즐과 시공면과의 거리는 1m 정도를 유지하는 것이 좋다. 이러한 조건을 유지하기 위해서는 길이가 긴 노즐을 사용하고, 작업대의 확보가 필요하다.

(다) 1회의 타설두께
1회의 뿜어붙이기 두께가 증가하면 박리를 가져오기 쉬우므로 1회의 타설두께는 5~7cm 정도로 하고, 최대 10cm 이내로 한다.

(라) 뿜어붙이기 압력
뿜어붙이는 압력은 노즐까지의 호스길이에 따라 다르지만 아리바 260형 숏크리트기의 경우 호스 길이 40m에서 뿜어붙이는 압력은 2.5~3.5kgf/cm2 정도가 된다.

(마) 숏크리트 두께의 관리
○ 콘크리트 중에 측정 핀을 넣고 또는 지보공, 록볼트 공을 이용하여 숏크리트 두께를 실측하여 관리한다.
○ 숏크리트 두께는 터널시방서, 계약조건과도 관련되지만 전단면에 걸쳐

관리하는 방법과 평균두께를 설계두께(부분적으로 부족함을 인정)로 하는 방법이 있다.

○ 일반적으로 팽창성지반이나 토사터널에서는 숏크리트의 설계두께는 최소두께로 하고, 중경암 지반에서는 평균두께로 관리하는 것이 타당하다.

(바) 용수대책

부착면에 용수가 있으면 숏크리트를 씻어내고, 부분적인 박리 등으로 작업능률의 저하를 초래함으로 지반의 용수대책을 세워야 한다.

(사) 분진대책

○ 종래의 터널공법에서 주된 분진 발생원으로는 굴착, 버력처리, 발파 등에 있다. NATM에서는 숏크리트 타설시 분진이 발생된다.

○ 이러한 숏크리트에 의한 분진에 대해서는 종래 실시해 왔던 전체 환기방식으로는 경제성 및 능력에 문제가 있다. 따라서 발생 분진을 발생개소에서 처리하여, 전체의 환기에 대해서는 송풍기로 송, 배기(送, 排氣)를 하는 국부 집진과 전체 환기방식의 병용환기방식이 효과적이다.

④ 록볼트(rock bolt)

록볼트 시공시 주의해야 할 사항은 설계에 표시한 록볼트의 위치, 각도를 정확히 설정하여야한다. 록볼트의 시공 정도(精度)가 좋지 않으면 계측 결과를 현장에 피드백(feed back)할 때에 잘못된 평가를 하게 된다.

NATM에서 록볼트의 효과는 다음과 같다.

(가) 인장력에 의해서 원지반이 내공에의 변형에 저항하고 이완의 발생을 억제한다.

(나) 원지반을 3축응력 상태로 하여 원지반의 항복강도를 높인다.

(다) 원지반의 절리나 균열에 의한 미끄러짐을 방지한다. 전면접착형 록볼트는 원지반의 절리나 균열에서의 미끄러짐을 방지하고 이완의 발생을 억제하는 효과가 있다.

(라) 원지반의 전단파괴면의 움직임에 저항한다.

⑤ 강재 지보공

강재지보공을 NATM에서 사용할 때의 효과는 다음과 같다.

(가) 숏크리트의 강도가 발현될 때까지의 지보

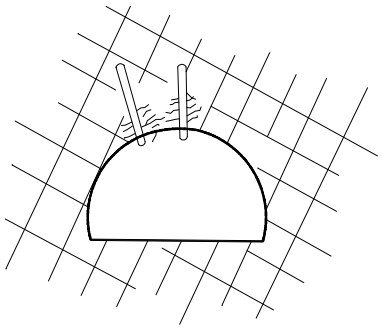
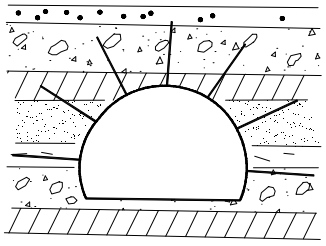
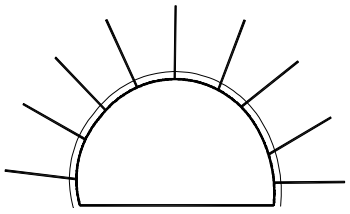
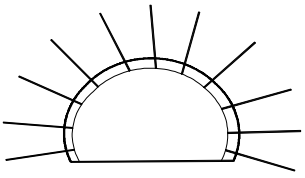
(나) 지반의 붕락방지

(다) 록볼트와 숏크리트의 지지력 보완

(라) 보강재를 사용하는 경우에는 반력의 지점

강재 지보공의 이음은 지보공의 취약요소가 되므로 가능한 한 이음개소를 적게 하는 것이 바람직하다. 또한 강재 지보공을 타설한 후 숏크리트를 시공할 때는 지보공의 배면에 공극이 발생하지 않도록 해야 한다. 지반과 지보공을 충분히 밀착시켜 지압이 지보공의 전체 길이에 걸쳐 원활히 전달될 수 있도록 시공하지 않으면 안된다.

[해설 표 2.2.3] 록볼트의 작용효과 및 적용지반

록볼트의 작용효과	개 념 도
① 봉합 효과 발파 등으로 이완된 암괴를 이완되지 않은 원지반에 고정하고 낙하를 방지하려는 것으로 가장 단순한 효과이다. 균열, 절리가 발달한 원지반에 있어 뿜어붙이기 콘크리트와 병용하여 비교적 작은 틈에 대해서도 효과가 있다. 1차 숏크리트를 원지반에 봉합하는 것도 이에 해당한다. 주로 경암~중경암지반에 적용된다.	
② 빔형성 효과 터널주변의 층을 이루고 있는 원지반은 층리면에서 분리하여 겹친 빔으로서 거동하나, 락볼트에 의한 층사이의 조임에 의하여 층리면에서의 전단응력의 전달을 가능하게 하여 합성빔으로서 거동시키는 효과이다.	
③ 내압 효과 락볼트 인장력에 상당하는 힘이 내압으로서 터널 벽면에 작용하는 것으로 생각하며 이에 의하여 2축 응력상태의 터널 주변의 원지반을 3축 응력상태로 유지하는 효과이다. 이는 압축시험시의 구속응력(σ_3 : 측압)의 증대와 같은 의미를 갖고, 원지반의 강도 또는 내하능력의 저하를 막는 작용을 한다. 주로 연암~풍화암 지반에 적용된다.	
④ 아치형성 효과 시스템 볼트에 의한 내압효과 때문에 일체화되어 내하능력이 높아진 터널 주변의 원지반은 내공측은 균등하게 변위함으로써 그랜드 아아치를 형성한다. 주로 연암~풍화암 지반에 적용된다.	

⑥ 라이닝(Lining)

NATM에서의 라이닝은 굴착·동바리가 완료된 구간을 순차적으로 전단면 라이닝을 시공할 수 있기 때문에 수평방향의 타설이음매가 없다는(인버트와 측벽의 타설이음매만) 점에 큰 장점을 가지고 있다.

라이닝 방식은 콘크리트 타설순서에 따라 (가) 인버트 후타방식, (나) 인버트 선타방식, (다) 전단면 타설방식으로 나눌 수 있다. 이들은 터널 주변지반의 암반

성상, 라이닝의 형상과 크기, 시공연장, 터널의 사용조건, 시공성 등을 고려하여 선정되고 있다.

NATM에서 라이닝의 타설시기는 터널의 변형이 수렴한 후 시공하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 팽창성 암반 등에서 변형이 장기간에 약간씩 증가하여 수렴이 매우 느린 경우에는 터널의 안전성이나 시공성의 측면에서 수렴 전에 타설하여 라이닝에 외부하중의 일부를 부담시키는 경우가 있다. 피복의 두께가 얇은 경우의 토사지반에 시공된 터널이 그 예이다.

(4) NATM의 적용한계

일반적으로는 다음과 같은 지반에서는 재래식공법의 채용도 곤란하고 무슨 공법이든 간에 보조공법이 필요하게 되는데, 현재 지적할 수 있는 적절한 보조공법으로서는 압기공법, 물빼기 공법, 지반개량공법 등을 들 수가 있다. 문제는 경제성 측면과 안전한 시공성 측면을 감안해야 하므로 문제점에 당면했을 때에는 이러한 측면에서의 비교, 검토하여 시공계획을 수립하는 것이 타당하다고 생각된다.

① 용수량이 많은 원지반
② 용수에 의해서 많은 유사현상을 발생시키는 원지반
③ 원지반이 파쇄되어서 록볼트공 타설이 곤란한 원지반
④ 막장이 자립되지 않는 원지반

3. SHIELD 터널

(1) 개요

실드공법은 함수량이 많은 사질토, 점토 등의 연약지반을 대상으로 한 터널 시공법으로서 도심지 연약한 지반 또는 하저통과구간 지하철 터널에 그 시공 사례가 있다. 강재의 원형 또는 마제형의 실드를 지반 중에 압입하여 지반의 붕괴를 방지하면서 굴착하고 후부의 테일 내에서 세그먼트 라이닝을 동시에 설치하는 공법으로 매우 불량한 지반에서도 적용할 수 있으며, 실드공법의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

① 공사 중에 지상에 미치는 영향이 적다.
② 흙의 피복이 깊은 경우에는 시공이 비교적 쉽다.
③ 지하매설물을 옮기거나 보호할 필요가 대단히 적다.
④ 적당한 방호를 하는데 따라 큰 건축물 아래에서도 시공이 가능하다.
⑤ 굴착작업이 일정한 패턴을 유지한다.

(2) 실드의 분류

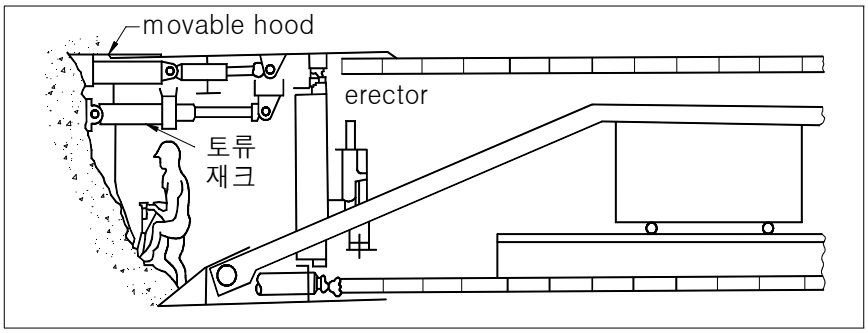
실드는 굴착방식, 흙막이 방식, 막장 가압방식 등에 따라 여러 가지로 분류되며, 분류는 다음과 같다.

① 굴착방식에 의한 분류

(가) 인력굴착 실드

인력굴착 실드는 기본형으로서, 전면이 개방되어 있기 때문에 지반붕괴를 방지하기 위한 구조물을 설치하면서 지반굴착에서부터 버력을 처리하기까지 인력으로 한다.

실드의 구조가 단순하기 때문에 고장도 적고, 수리도 용이하며 굴착 중 지반을 확인할 수 있으므로 지중의 장애물 처리나 지질변화에 대응하기 쉬워 지금까지 가장 시공실적이 많다.



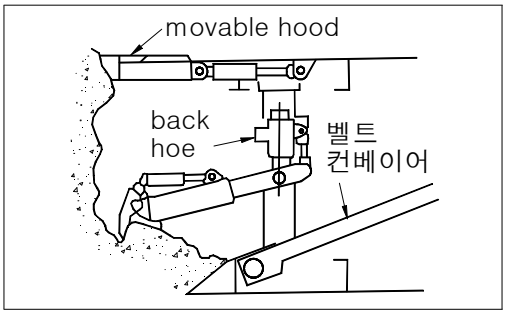
[해설 그림 2.2.10] 인력굴착 실드

(나) 반기계굴착 실드

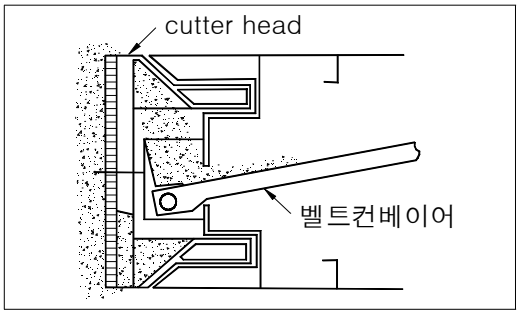
반기계 굴착 실드는 인력굴착과 기계굴착의 중간형으로 굴착의 힘을 덜고 능률화를 위하여 인력굴착 실드에 버력처리 기계를 설치한 것이다. 기계로는 자동 굴진식과 붐식이 있는데 모두 전후, 상하로 움직일 수 있으며 막장에 흙막이를 설치하기가 어려우므로 막장이 자립해야 한다.

(다) 기계굴착 실드

기계굴착 실드는 막장면에 밀착된 커트헤드를 회전시켜 막장 전체를 동시에 굴착하는 방식으로 지반을 연속하여 굴착하고 그 버력을 실드 후방으로 반송하면서 실드를 추진한다. 이 실드의 굴착기구, 커터헤드, 막장 지지방식 등에 대해서는 토질에 따라 여러 가지 형식이 개발되었는데, 느슨한 모래층, 거대한 돌이 끼어있는 사력층, 연약한 실트층에서는 시공하기가 곤란하다.



[해설 그림 2.2.11] 반기계굴착 실드



[해설 그림 2.2.12] 기계굴착 실드

(라) 이수가압 폐쇄 실드

이수가압 폐쇄 실드는 기계굴착 실드의 뒤쪽에 격벽을 설치하여 막장과 이수실에 이수를 압송하여 가압하고 실드에 장치한 압력유지 기구로 막장을 안정시킨다. 실드는 막장의 굴착토를 이수실로 보내어 액체비중이 높은 이수(배수이수)로 만들어 항외로 배출하며 추진한다.

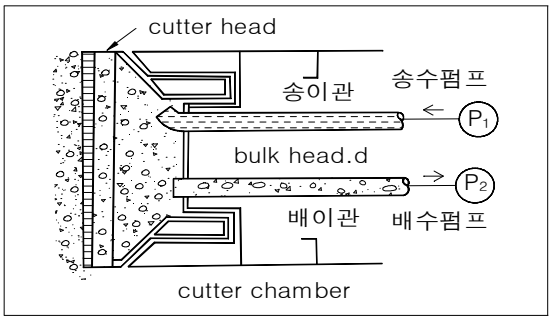
이 공법은 압기를 병용할 필요가 없고 작업환경도 양호하며 연약 실트층

에서 사력층까지 광범위한 지반에 적용이 가능하다.

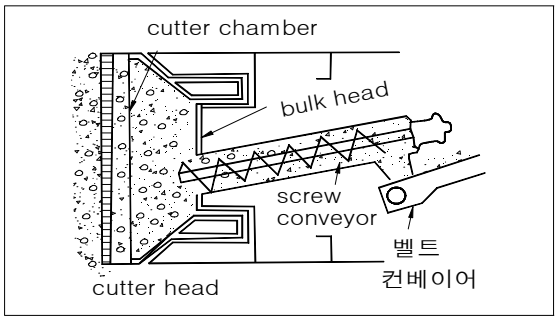
(마) 토압계 굴토 가압식 실드

굴토 가압식 실드는 커터로 굴착한 토사를 챔버 안에서 굴착한 토사의 토압을 유지할 수 있는 배토기구로 막장을 안정시키고, 굴착토사를 챔버 안의 스크류 컨베어를 통해 후방으로 반송, 배토 게이트로 배토시키면서 추진한다. 이 공법은 점성토 지반에 터널을 시공하기 위하여 개발된 것이다.

]



[해설 그림 2.2.13] 이수가압 폐쇄 실드



[해설 그림 2.2.14] 토압계 굴토 가압식 실드

(바) 토압계 가수식 실드

가수식 실드공법은 지하수압이 있는 사질토 지반을 시공하기 위해 개발된 공법으로 커너 챔버 안에 채취한 굴착토사와 배토 조종조에 압력을 가하여 지하수압에 대응하여 막장을 안정시킨다. 실드는 챔버 안의 굴착토사를 배토 조종조로 반송시키면서 추진되며, 배토 조종조로 반송된 토사는 물과 혼합하여 혼합수로 만들어 지상으로 수송된다.

(사) 블라인드 실드

블라인드 실드는 인력굴착으로 시공하기 곤란한 연약지반을 시공하기 위하여 실드 전면에 격벽을 설치하여 막고, 토질에 따라 격벽의 일부에 개구부를 설치한 것이다.

실드는 블라인드를 추진시킴과 동시에 지반의 토사가 크림상태로 유출되는 구조로 되어 있으며, 개구부의 크기는 블라인드 실드 추진의 압력평형에서 실드의 총 추진력을 구하고 추진속도를 고려하여 결정된다.

② 단면형상에 의한 분류

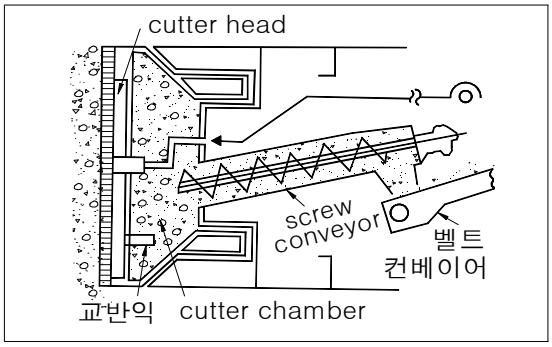
실드는 단면형상에 따라 다음과 같이 분류할 수 있으며, 일반적으로 원형단면이 널리 사용된다.

(가) 원형단면

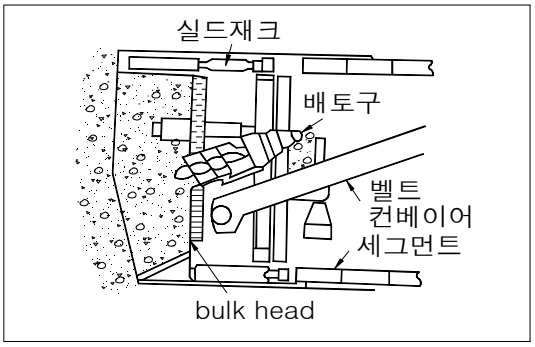
원형단면 실드의 특징은 외압에 대해 가장 유리하며, 시공상 실드의 추진이나 세그먼트의 조립이 용이하다. 실드제작이 비교적 간단하고 경제적이며, 추진시의 재해로 일어나는 롤링에 대해 단면 이용상의 지장이 적은 것이 특징이다.

(나) 반원형(루프) 단면

일반적으로 지하 확장 굴착에 있어서 상부의 굴착을 주로하며, 소 단면에서는 형상이 특수한 점에서 실드 및 흙막이 잭의 배치, 하부추진용 잭의 반력받이 이렉터의 구조배치, 세그먼트의 취입장치 등에 특히 배려가 필요하다.



[해설 그림 2.2.15] 토압계 가수식 실드



[해설 그림 2.2.16] 브라인드 실드

(다) 마제형 단면

마제형단면은 터널 사용목적에 따라 여유공간을 줄여서 경제적이며 필요한 터널단면을 굴착하기 때문에 토압에 대해서도 유리하다. 또한 연약지반에 대해서 시공상 안전성이 좋은 장점을 갖고 있으나, 롤링 등 사행 수정이 곤란하며 사행에 유효단면의 영향이 큰 세그먼트의 제작, 조립이 복잡하고 난점이 있어 사용에는 적다.

(라) 사각형 단면

사각형 단면은 다음과 같은 장점과 단점이 있다.

<장점>

○ 여유공간이 적어서 경제적인 터널단면이 채택된다.

○ 터널높이를 원형단면에 비하여 낮게 할 수 있다.

○ 연약지반에 대하여 시공상 안정성이 높다.

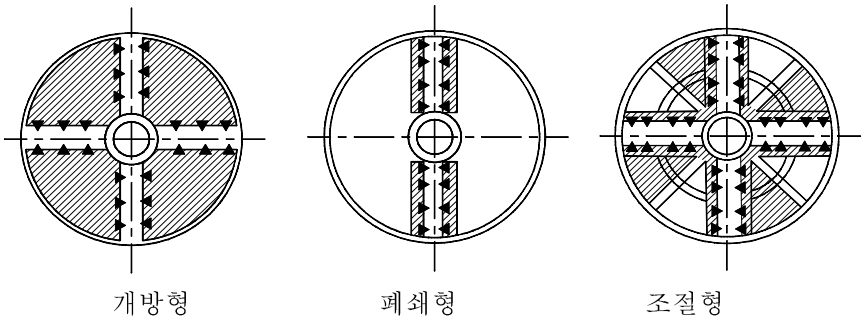
<단점>

○ 원형 실드에 비하여 높은 강성의 세그먼트가 필요하고 세그먼트의 분할방식, 이음구조, 방수, 조립방법 등 설계, 제작 및 시공에 특수한 배려가 필요하다.

○ 시공상 롤링 등 사행수정이 곤란한 동시에 사행이 생긴 경우 터널의 유효단면에 미치는 영향이 크다.

③ 전면의 구조에 의한 분류

전면 구조에 의해 개방형, 폐쇄형, 조절형으로 구분되며, 토탄층이나 단단한 자갈층과 같이 굴착면이 견고한 경우 개방형이, 지반이 연약한 사질토나 점성토에서는 폐쇄형이, 토질이 크게 변하는 경우 조절형이 이용되고 있으나 조절형은 그 사용 예가 적다.



[해설 그림 2.2.17] 헤드 전면 형상

(3) 실드의 구성

실드기계는 본체, 굴착 흙막이, 추진설비, 라이닝설비, 각종 유압설비, 부속설비 등으로 구분되며, 그 외에도 토압, 지하수압, 잭의 반력 등을 지지하는 한편 작업공간을 확보, 굴착, 추진, 라이닝 등에 필요한 설비들도 포함된다. 실드 본체는 프레임과 외주면을 피복하는 스킨 플레이트 강판으로 원형단면이 많이 이용된다. 굴착작업이 행해지는 전부의 후드와 라이닝을 이루는 후부의 테일부, 그리고 이러한 중간을 연결하고 실드에 작용하는 모든 내외력에 대하여 실드 전체를 유지함과 동시에 굴착추진설비의 장비와 실드잭을 넣어두는 거더부로 나누어진다.

(4) 실드터널의 내공 및 단면형상

① 철도, 도로 터널

외측에 각종의 기기를 설치할 공간과, 관리통로, 도로 등 공간을 염두에 두고 그것을 고려한 터널내공이 정해진다.

② 하수도 터널

내공자체가 통수단면으로 사용되기 때문에 계획 유량에서 산출한 것에 시공오차를 고려하여 단면을 정한다.

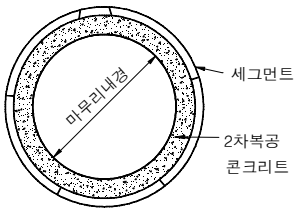
③ 상수도 터널

상수도 단면에서도 하수도 단면에서와 같은 방법이나, 압력관로가 많기 때문에 라이닝만으로 관압저항이 안되며, 완성한 실드내에 강관 등을 설치 라이닝과의 간극을 콘크리트로 채우는 것이 일반적이다.

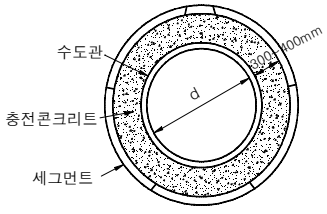
④ 전력, 통신 터널

일반적으로 실드내의 선반에 케이블을 설치하며, 그 밖의 점검용, 환기용의 공간을 고려하여 설계해야 한다.

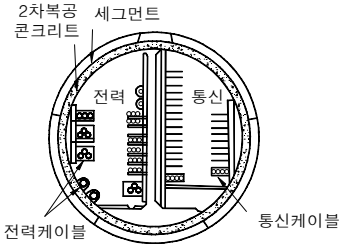
(5) 터널 단면의 실례



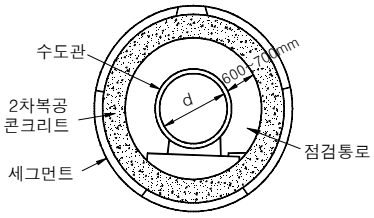
(a) 하수도 터널



(b) 상수도 터널(콘크리트 충전 방식)

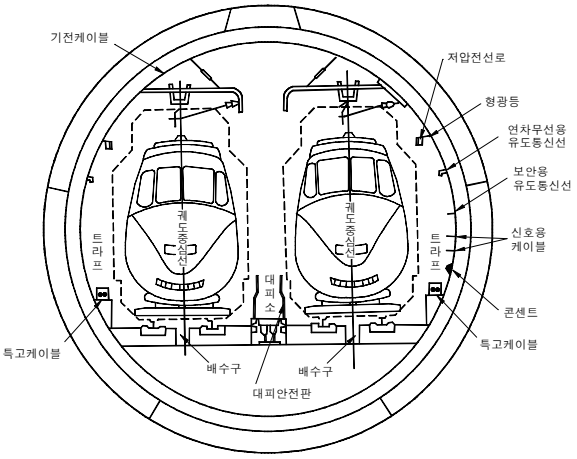


(c) 전력・통신 터널



(d) 상수도 터널(전검통로 방식)

[해설 그림 2.2.18] 터널단면의 실례



(e) 철도터널

[해설 그림 2.2.18] 터널단면의 실례(계속)

(6) 터널의 선형

선형은 가급적 직선이 바람직하고 부득이 하게 곡선이 되는 경우라도 반경이 큰 완곡선으로 계획해야 한다. 터널의 깊이는 재료 반출입의 능률, 압기공법, 항내에 있는 물처리 등을 감안하여 얕은 방법이 좋지만, 지반에 따라서는 지표면의 침하가 크게 나타나거나 누기 등의 위험성이 크다. 안전 시공을 위하여 피복은 실드의 직경이상으로 두꺼워야 하지만 이것은 지반의 성상에 따라 크게 다르므로 충분한 사전조사를 기초로 터널의 깊이를 결정하지 않으면 안된다. 실드가 하천이나 바다 밑을 통과할 경우에는 특히 신중한 검토가 필요하다. 터널의 구배는 공사중의 용수를 자연유하 시키기 위해서 0.2%~0.5% 정도 상향 구배인 것이 바람직 하지만 반드시 그렇지만은 않다. 특히 도시 내에 있어서 지하구조물, 매설물을 횡단할 때는 터널의 깊이가 하천의 깊이 등에 의해서 결정된다. 구배가 2% 이상의 급구배가 된다면 실드의 추진이나 갱내의 운반작업 등 능률이 저하될 우려가 있다.

(7) 터널의 라이닝

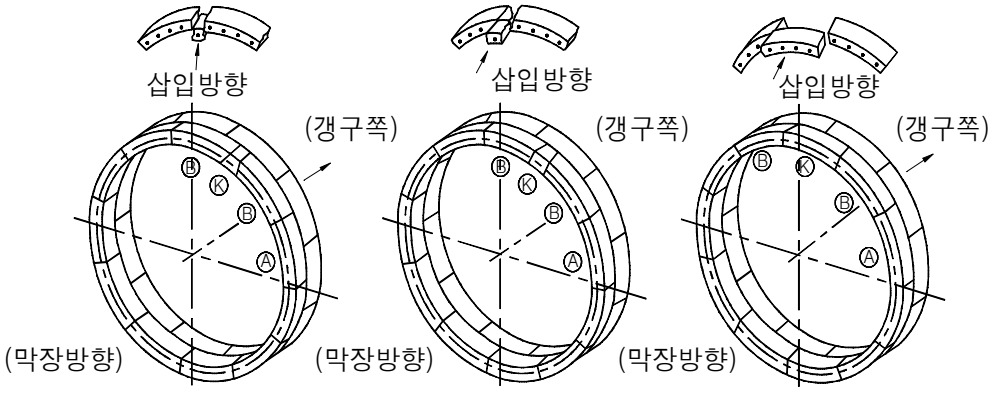
실드터널의 라이닝이 보통 산악터널의 라이닝과 다른 것은 1차 라이닝과 2차 라이닝으로 나누어져 있고 1차 라이닝은 프리패브 방식의 세그먼트가 쓰여지는 점이며, 실드의 테일에 원형으로 짜여진 세그먼트는 실드를 추진시킬 때 잭의 추력을 받게되는 한편 테일이 전진한 후는 주변지반을 지지하는 지보공 역할을 해야 한다. 2차 라이닝은 통상 마감재로 완성되나, 생략하면 그만큼 터널의 단면이 커지는 잇점이 있지만 계획에 있어서는 터널의 사용목적이나 주변의 토질 조건도 고려하여 어느 것을 택할 것인가를 충분히 검토 후 결정하여야 한다.

라이닝에는 많은 하중이 장기간 작용하고 하중의 경시변화에는 불확정 요소가 많으므로 1차 라이닝과 2차 라이닝의 하중분담에 대해서도 해결해야 할 문제가 많이 있다.

2차 라이닝의 재료는 콘크리트계와 철강계의 두 가지로 대별되지만, 콘크리트계는 경제적인 반면, 취급이 불편하고 손상되기 쉬운 단점이 있고, 철강계는 취급은 용이하나, 변형량이 크고 마무리 정도에 따라 비 단면이 있으므로 어느 계통의 세그먼트를 선택하는가에 대한 검토도 충분히 이루어져야 한다.

① 세그먼트와 2차 라이닝

세그먼트는 일반적으로 RC세그먼트가 많이 사용되지만 급한 곡선부나 고하중부 및 다른 터널과 연결하는 부분 등에는 강재 세그먼트나 주철재 세그먼트를 사용하고 있는 예가 많으며, [참고사항 그림 2.2.19]은 K(Key)세그먼트 설치방식을 보여준다. 지금의 K(Key)세그먼트는 주로 반경방향으로 삽입하는 타입이기 때문에 축방향으로 삽입하는 쐐기형으로 바뀌고 있다. 그 이유는 종래의 반경 방향 삽입형식의 경우 K세그먼트가 외압을 받으면 볼트의 전단력으로 저항하는 데 비해서 축방향 삽입 형식은 B세그먼트와의 접촉면에서 하중을 받게 되어 하나의 링구조물로서 저항하므로 안정성이 현격하게 향상되기 때문이다.



[해설 그림 2.2.19] K(Key)세그먼트 설치방식

축방향 삽입형식의 경우는 실드잭의 스트로크가 길어지기 때문에 실드기계의 테일 길이도 길어지고 테일 플레이트의 두께에도 영향을 주는 흠이 있지만 대구경화와 대심도화에 있어서는 필요 불가결하게 채용되는 경우가 많다.

(가) 세그먼트의 장점

○ 품질, 정밀도가 높다.

○ 시공속도가 빠르다.

(나) 세그먼트의 단점

○ 고가이다. 또한 특수공법으로는 현장타설 콘크리트 방식, Ribs and Wood Lagging방식이 있다.

(다) 라이닝

○ 1차 라이닝 내면에 통상 7~15m 정도를 시공단위로 하여 현장타설 콘크리트에 의해 포장하는 것으로 세그먼트의 보강, 방수, 방청, 내장등의 목적이 있다.

② 세그먼트의 종류

(가) 링의 형상에 의한 분류

○ 직볼트 결합방식

○ 휨볼트 결합방식

○ 핀 결합방식

○ 힌지(너클)방식

(나) 세그먼트의 형상에 의한 분류

○ 평판형 세그먼트

○ 박스형 세그먼트

(다) 세그먼트 재료에 의한 분류

○ 철근 콘크리트 세그먼트

- 덕타일 주철이나 스틸제에 비하여 값이 싸다.
- 내구성이(내부식성, 내열성) 있다
- 강도가 약하기 때문에 높이가 높고 우각부가 취약하다.
- 중량이 크다.
- 이음 구조상의 약점이 있어 변형이 크다.

○ 스틸 세그먼트

중소단면에 많이 쓰이며, 사용 강재는 일반 구조용 압연강재 2종 SS41 이다. 조립이나 운반 및 취급이 용이하며, 보강재의 부착가공이 간단한 반면 고가이며, 내부식성이 뒤지고 용접에 의한 변형이나 잔류응력에 어려움이 있다.

○ 덕타일 주철세그먼트

주철에 마그네슘을 첨가하여 신장, 인성, 인장강도를 향상시키고 주조성도 우수하며, 고강도이나 특수형상 세그먼트로 사용된다.

○ 합성 세그먼트

세그먼트의 내면, 외면에 강판을 사용 지벨에 의해 콘크리트와 강판을 합성한 세그먼트다. 다만 강판의 내부식성이 문제가 된다.

(8) 터널의 부속 설비

터널의 부속설비 중 공통설비로는 터널 굴진시 필요한 전력설비, 조명설비, 각종 재료의 반출입, 연락통신 설비, 환기·송배수설비, 작업원의 출입 및 통로설비, 시험설비와 작업에 필요한 굴착버력 처리 및 라이닝설비, 뒷채움 설비, 방수공 설비, 압기설비 등이 있다. 이러한 각 설비는 장기간에 걸쳐 공사도중에는 공사방해가 되기 쉽기 때문에 입지조건에 대응하여 충분한 환경보전 대책을 세움과 동시에 기계가 콤팩트한 것이 좋다.

4. 개착터널

(1) 개요

개착공법(open cut method)은 지표면에서 큰 도랑을 굴착하여 그 속에 지하구조물을 구축하고 완성된 후 매몰하여 원상태로 복구하는 공법으로, 도시토목의 표준공법인 지하철을 시작으로 공동구, 지하도로, 지하가(地下街), 상하수도, 전력통신 등의 건설에 널리 채용되고 있다. 최근에는 각 도시시설과의 입체교차에 의한 터널의

심층화, 노면 교통량의 증대에 상대적으로 노상공사의 규제, 환경보전 등의 문제로 실드공법이 보급되고 있는 실정이지만, 평탄한 지형에 얕은 터널을 구축할 때는 시공법, 안전성, 경제성 등의 면에서 개착공법이 가장 적합한 공법이라 할 수 있다.
개착공법에 의한 터널은 박스형 구조로 설계되며, 도심지역에서는 시공으로 인한 이용가능 공간이 부족하기 때문에 일반적으로 필요한 범위만큼 흙막이 말뚝을 타입하고 굴착을 진행함과 동시에 토류판을 삽입하여 지반의 붕괴를 방지하는 방법을 많이 이용하고 있다. 이 공법은 굴착 깊이가 커지면 공비 및 공기의 증대로 실드(shield)공법에 비하여 불리하다. 또 공사 중에 교통 및 연선(沿線)에 여러 가지 악영향을 주는 것이 결점이다. 도심지역 이외의 외곽지역과 같이 건설공간이 확보된 지역에서는 소굴식(open slope) 공법을 사용하는 것이 좀더 경제적이다.

(2) 조사와 계획

① 조사

조사는 적절한 터널을 설계하고 공사의 안전, 신속은 물론 경제적으로 시공함과 동시에 주변의 환경보전을 위하여 노선선정 및 선형, 형상 및 구조, 시공법, 지표면의 사용방법, 안전대책, 환경보전대책, 공사공정, 공사비 등을 검토하는데 필요한 자료를 얻은 것을 목적으로 시행해야 한다.
일반적으로 개착식 터널을 시공하기 위해 실시하는 조사를 분류하면 크게 다음과 같이 구분할 수 있다.

(가) 입지조건 조사

○ 토지이용상황 및 물권상황
○ 도로종류별 및 교통상황
○ 지형상황
○ 공사용지의 상황
○ 하천, 호소 등의 상황

(나) 지장물 조사

○ 지상 및 지하구조물
○ 매설물
○ 구조물터・가설공사터
○ 기타

[해설 표 2.2.4] 개착식 터널 공사를 위한 매설물 조사의 개요

조사의 단계	예비조사	설계 및 시공계획 단계에 대한 조사	공사실시에서의 조사
조사의 목적	· 매설물의 개략상황 파악 · 터널공사에 영향을 주는 매설물의 예측 및 예비조사 이후에서 조사할 개소확인	· 영향을 주는 매설물의 상황을 확인하고 설계 및 시공계획의 자료를 구한다. · 매설물의 평면도 작성	공사의 실시에 대한 지장 여부 확인
조사의 방법	· 평면측량도에 의한 맨홀 위치의 조사 · 매설물 대장 조사(각 관리자 보관) · 조사에 의한 확인	· 동도(洞道), 맨홀 등의 내부조사 · 시굴 · 자기탐사	· 필요한 개소에 대해서의 상세한 시굴 · 동도(洞道), 맨홀 등의 위치 및 내부 상황의 확인
적요	대장조사에 대해서는 각 매설물관리자에게서 자료의 제공을 구한다.	각 매설물관리자의 입회를 구한다.	각 매설물 관리자와 긴밀한 연락과 입회를 구하고 불명관, 노후관 등의 처리방법에 대해 협의한다.

(다) 지반 조사

○ 지층구성

○ 지질

○ 지하수

○ 산화에 의한 산소부족・유해가스의 유무

(라) 환경보전을 위한 조사

○ 소음・진동

○ 지반침하

○ 지하수

○ 폐기물처리

○ 기타

② 계획

개착식 터널의 계획은 주변환경을 손상시키지 않고 도시생활에 지장이 없도록 하면서 목적에 적합한 터널을 안전하고 경제적으로 축조할 수 있도록 세워야 한다. 개착식 공법은 종래 도시터널의 표준공법으로서 일반적으로 사용되어 왔으나, 최근에는 실드공법이 보급되어 이들과의 대비 중 그 장점을 살리는 방향을 채용하고 있다. 즉, 평탄한 지형에서 비교적 얕은 터널을 설치할 경우에는 안전, 경제적인 면에서 최적합한 공법이다. 또한, 개착식 공법을 쓰면 비교적 복잡한 형상의 구조물을 지중에 축조하는 것이 용이하며, 여러 목적에 따른 필요한 터널 단면을 확보할 수 있다. 더욱이 공사단계에서도 토질의 변화, 지하수위의 변화 등에 대응하여 그 상황에 적합한 시공방법의 변경이 가능하며 탄력성이 풍부한 경제적인 공법이다.

한편, 개착식 공법은 굴착 깊이가 크게 되면 실드공법에 비하여 공비・공기도 증대되고, 공사중의 지표면 사용에 의한 교통·연선에의 영향이 크며, 공사중의 환경보전이 어려우므로 불리하다. 따라서 계획은 그 장점을 가장 잘 살리도록 하여야 한다.

개착공법의 계획에서는 일반적으로 다음과 같은 사항을 검토하여야 한다.

○ 실드공법, 기타공법과의 비교에 의한 개착공법 적용구간의 결정
○ 터널의 선형, 깊이, 형상 및 구조의 검토
○ 시공법 검토 특히, 흙막이공법, 굴착공법 및 터널구체 축조의 방법 검토
○ 환경보전대책 특히, 지표면 사용방법, 작업시간, 소음・진동 등의 검토
○ 공사의 안전대책 검토
○ 공사공정 및 공사비 검토

(가) 터널의 설치 위치

개착식 터널의 설치깊이 및 평면적 위치의 결정은 경제적인 검토와 아울러 다음 사항을 검토하여야 한다.

○ 입지조건은 토지이용, 물권상황, 도로종류별과 교통상황, 도시계획구역의 종류별, 하천, 호소 등과의 관련되는 현상 및 장래의 계획을 포함해서 배려한다.
○ 지장물(지하구조물, 매설물, 지상구조물 등)과의 관련은 기존의 시설에 대해서 뿐만 아니라 장래 설치되는 것에 대해서도 시공방법도 고려하여 터널과의 상호 관련을 충분히 고려해야 한다.
○ 환경조건은 터널의 설치에 의한 소음・진동, 대기오염 등의 문제가 없도록 주변에 대한 영향을 배려한다.
○ 설치위치의 결정은 시공조건 외에 그 사용목적에 따라서 터널내의 점검, 보수가 용이하도록 한다.

(나) 터널의 선형 및 구배

일반적으로 터널의 선형 및 구배는 사용목적, 입지조건, 지장물 등을 고려해야 하며 다음 사항에 주의해야 한다.

○ 실드공법, 기타공법과의 비교에 의한 개착공법 적용구간의 결정 터널의 선형은 사용목적에 의해 다르나, 철도나 도로터널을 되도록 직선으로 하고 부득이한 경우에도 곡선반경을 될 수 있는 한 크게 할 필요가 있다.
○ 실드공법, 기타공법과의 비교에 의한 개착공법 적용구간의 결정 개착식 터널은 시공상에는 최급구배에 비교적 제한을 받지 않으므로 구배는 터널의 사용목적, 입지조건 등에 의해 정하는 경우가 많다. 그러나 터널내의 배수가 필요하면 종단방향에 자연유하가 가능한 최완구배(0.3% 정도)를 확보할 필요가 있다. 또한, 수로터널에는 목적에 따른 통수량, 통수단면적, 유속 등의 상호 관계를 고려하여 구배를 결정한다.
○ 실드공법, 기타공법과의 비교에 의한 개착공법 적용구간의 결정 지반의

부등침하 등에 의해 장차 구배가 변화할 위험이 있는 곳에는 그 변화를 잘 살펴 구배를 결정하고, 변화가 생겨도 터널의 기능에 지장이 없도록 하여야 한다.

(다) 공법의 선정

시공에서는 안전성, 경제성 및 주변의 환경보전 등을 종합적으로 판단을 하고 흙막이, 굴착, 구체축조 등에 대해서 최적공법을 채택해야 한다.

일반적으로 개착공법에 의한 공사의 주된 내용은 흙막이, 굴착, 구체축조 등이나 보조공법을 병용함에 따라 현장의 토질상황, 시공환경, 공사규모 등에 따른 최적공법을 채택할 수 있다. 따라서 공법의 결정은 각종 공법의 특징을 비교·검토하여 가장 유리한 공법을 선정하여야 한다.

공법 선정시 일반적으로 고려하여야 할 사항은 다음과 같다.

○ 굴착심도 및 형상

○ 지층상태와 지하수의 상황

○ 주변구조물 및 매설물 상태

○ 인근 주민과 소음, 진동 등 환경영향 평가

○ 시공시 배수 및 굴착방법

○ 가설 및 영구 지하구조물의 안전관리

○ 주변의 유사조건에서 실시된 시공실적과 문제점 조사결과

(라) 굴착공법의 종류

지하에 구조물을 구축하려면 지반을 어떤 공법에 의해서든 굴착해야 하는데 이 때 어떤 공법을 채택하여 시공할 것인가는 경제성 및 시공의 안전성을 고려하여 대지의 조건이나 토질조건이 각 굴착공법의 특징과 일치하는지를 검토하여 선정해야 한다. 도심지역에서의 굴착공사 대부분은 흙막이에 의한 개착공법이다.

개착식 공법을 굴착방법에 의해 분류하면 크게 전단면굴착공법과 부분굴착공법으로 구분되며 다음과 같다.

○ 전단면굴착공법은 축조하는 구체에 따라서 전단면을 동시에 굴착하는 방법으로 라이닝형식과 무(無)라이닝형식 등이 있다.

○ 부분굴착공법은 전단면을 동시에 굴착하지 않고 부분적으로 굴착하는 방법으로 라이닝형식과 무(無)라이닝형식 등이 있다.

이들의 공법 외에도 소굴식 굴착공법 등이 있으나 전단면굴착공법이 가장 일반적인 공법이다.

(3) 박스형 터널

개착식 터널의 설계는 건설의 목적에 부합할 뿐만 아니라 각 요소에 대해서도 안전할 수 있도록 하여야 한다. 즉 목적에 적합한 구조물을 만들기 위해서는 계획에 기초하여 단면, 선형, 구배, 외력의 결정 및 안정성, 경제성의 검토를 하여 환경과의 조화 및 공해 방지에 대해서도 배려하여 설계할 필요가 있다.

개착식 터널은 충분한 설계, 시공의 경험에 기초하여 설계하는 것이 사용목적에 적합하면서 안전하고 경제적인 구조물로 할 수 있다. 특히 철근콘크리트 구조물은 보수, 개량 등이 곤란한 경우가 많으므로 전술한 조사결과를 기초로 적절한 판단을 하여 터널에 유해한 피해가 생기지 않도록 하여야 하며, 다음과 같은 사항을 고려하여 설계한다.

① 지형 및 토질
② 환경보전
③ 시공방법
④ 유지관리
⑤ 선형 및 구배
⑥ 설치위치
⑦ 내공단면

개착식 터널의 내공단면은 기능상, 보수관리상 필요한 형상과 치수 외에도 터널 설치위치의 제조건을 고려하여 결정한다. 내공단면 크기의 결정은 경제상의 검토뿐만 아니라 시공 및 보수관리가 안전하고 용이할 수 있도록 고려한다.

⑧ 구조형식

개착식 터널의 구조형식은 그 사용목적, 지형 및 토질, 시공방법, 하중조건 등을 고려하여 정하여야 한다.

(가) 횡단방향의 구조형식

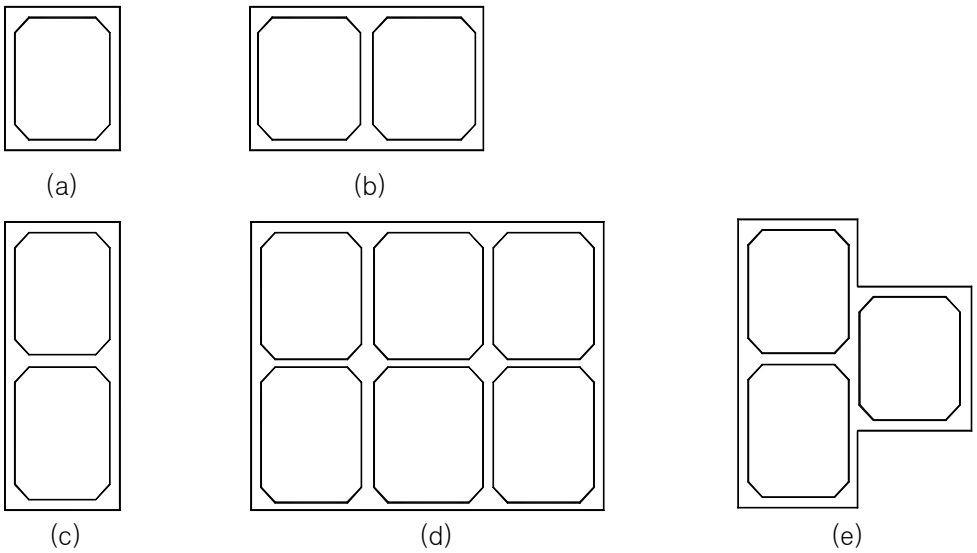
일반적으로 쓰이고 있는 개착식 터널의 횡단방향 구조형식은 박스형 라멘이며 그 특징은 다음과 같다([해설 그림 2.2.20]참고).

○ 굴착단면적에 대한 유효단면적이 크다.
○ 시공이 비교적 용이하다.
○ 도로, 철도 등의 사용목적에서 구하여지는 내공단면에 대하여 효과적인 형상이다.
○ 토피가 큰 경우 등 하중조건에 의해서는 아치 원형 등 보다 큰 응력이 생겨 부재 두께가 증가한다. [해설 그림 2.2.20(e)]와 같은 변형단면 구조에 대해서는 지반의 지지조건, 작용하는 토압 등을 충분하게 검토할 필요가 있다.

(나) 종단방향의 구조형식

터널의 종단 방향에는 이음매를 설치하지 않을 때도 있으나 다음과 같은 곳의 전후에는 부등침하나 지진시에 있어 터널단면에 큰 응력이 생기므로 이에 대한 배려가 필요하다.

○ 재하상태, 지반조건이 현저하게 변화하는 장소
○ 터널단면이 현저하게 변화하고 전후의 중량이 크게 다른 장소
○ 말뚝기초 등을 시설하고 그 장소가 터널의 지점으로 되는 장소



[해설 그림 2.2.20] 개착식 터널의 단면형상

(다) 방수

철근콘크리트의 구체자중을 수밀구조로 하는 경우에는 부재두께가 터널의 강도 계산에서 결정되었어도 어느 정도 이상의 작은 단면으로 하면 차수성이 저하되므로 좋지 않다. 또 방수층으로 구체를 덮을 경우에 터널 외주(外周)의 형상이 복잡하게 되면 방수시공의 확실성이 손실될 위험이 있으므로 형상은 되도록 단순하게 하는 것이 좋다.

더욱이 지하연속벽으로 본체를 이용하는 경우에는 구체의 외주에 방수층을 시공하는 것이 곤란하므로 방수에 대해서는 별도로 검토할 필요가 생긴다.

나. 시설물 상태변화의 점검항목

1) 상태변화 점검항목

시설물의 상태변화에 따른 평가는 터널의 라이닝 및 주변 시설물로 구분하며, 지하차도는 철근콘크리트 구조물과 주변상태 등을 상태평가 시 점검사항으로 다음과 같다.

[표 2.2] 터널의 상태변화 점검항목

구 분	평 가 항 목	비 고
라이닝 상태	◦ 균열 ◦ 누수 ◦ 파손 및 손상 ◦ 재질열화 (박리, 층분리 및 박락, 백태, 철근노출, 탄산화, 염화물)	
터널주변 상태 등	◦ 배수상태 ◦ 지반상태 ◦ 갱문상태(옹벽 및 비탈면) ◦ 특수조건 : 추가점수 부여	

[표 2.3] 지하차도의 상태변화 점검항목

구 분	평 가 항 목	비 고
철근 콘크리트	◦ 균열 ◦ 누수 ◦ 파손 및 손상 ◦ 재질열화 (박리, 층분리 및 박락, 백태, 철근노출, 탄산화, 염화물)	
지하차도 주변상태 등	◦ 배수상태 ◦ 입,출구부상태(U-Type 옹벽)	

【해설】

1. 라이닝 상태

(1) 균열

균열은 주로 터널 라이닝 단면변상의 결과에 의해서 나타나는 것으로서, 갱문 부근을 제외하면 보통 라이닝 내측에 발생한다. 라이닝 내측에 발생하는 균열은 균열의 형태에 따라 주동하중에 의해 균열폭이 벌어지는 인장균열, 수동압이 부족하여 응력이 해방되어 균열폭이 닫히는 압축균열로 크게 나눌 수 있다.

균열은 발생 방향에 따라서 터널의 진행방향과 평행한 종방향 균열, 진행방향에 수직한 횡방향 균열과 경사진 형태의 사방향 균열, 복잡한 형태의 방사형 균열 등으로 나눌 수 있다.

맨홀이나 어깨부와 측벽부, 인버트와 측벽부의 시공이음은 구조적으로 응력이 집

중하기 쉬운 부위로서, 시공상의 문제로 인해 품질확보에 어려움이 많으므로 해당 부위 주변에 균열이 많이 발생한다. 또한, 도로터널의 바닥면에 발생하는 균열은 통행하는 차량의 반복하중에 따른 바닥면 지반의 이완이나 통행 차량하중이 과다하여 발생하는 것으로서 통행의 불편과 좌우측 배수시설의 구조체에 영향을 미치는 경우가 있으므로 이에 대한 조사를 철저히 해야 한다.

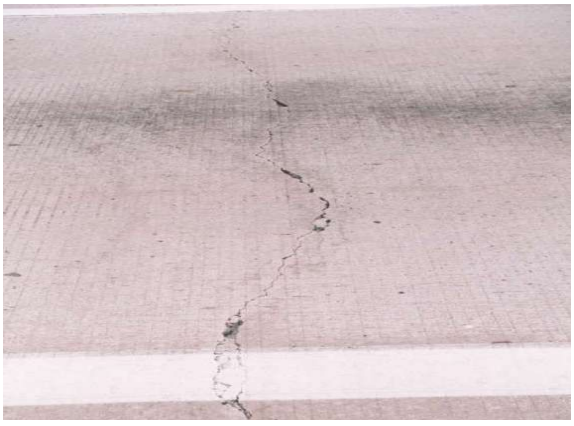
균열에 있어서 변형 이외의 요인으로는 콘크리트의 건조수축에 의한 것이 있지만 이러한 균열은 일반적으로 균열 폭이 작아 일반적으로 무시한다.

일반적으로 터널은 주변지반을 구조체로 활용하는 지중구조물로서, 콘크리트 라이닝에 발생한 균열에 대한 평가와 분석을 실시함에 있어 지중구조물로서의 특성을 고려한 분석이 필요하다.

특히 굴착터널의 경우에는 굴착직후 원지반의 특성에 따라 이완하중에 대한 변위 정도가 다르지만 대체로 수렴이 완료된 이후 콘크리트 라이닝을 설치하므로 특별히 취약한 지층대 또는 주변지반 환경이 복잡하거나 인접한 위치에서 공사가 실시된 경우가 아니라면 콘크리트의 재료적인 특성에 기인한 균열이 대부분이라 할 수 있으므로 외관조사시 특별한 위치나 규모의 균열을 제외하고는 개개의 균열에 대한 조사보다는 균열의 발생 위치, 밀집도, 규모, 방향 등에 대한 조사를 실시하고 해당구간의 적용 지보패턴을 고려한 배면 지반조건과의 연계된 분석을 실시하는 것이 효과적이라 할 수 있다. 또한 균열 보수방안을 적용함에 있어서도 개별보수 또는 구간보수로 구분하여 실시하는 것이 바람직하다.

한편, 박스형 터널의 경우에는 구조물의 특성상 철근의 길이 및 피복두께 부족, 콘크리트의 타설 높이 및 시공이음부 위치 차이, 되메움 및 다짐방법, 공용중 인접구조물의 건설 등으로 인해 균열이 발생하게 되고 추가적인 하중의 작용이 없는 경우 점차 안정화되는 특징을 가지고 있으므로 공용중인 구조물의 구조적인 안전성을 평가하기 위해서는 균열의 발생원인을 규명하는 것이 무엇보다 중요하다. 구조적으로 안정된 구조물이라 할지라도 균열이 집중되어 발생한 구간의 경우에는 내구성 측면에서 철근부식에 따른 부피팽창으로 박락 등의 2차적인 변상이 우려되므로 발생한 변상의 원인에 따른 균열전이 현상에 대한 분석이 중요하다.

[해설 사진 2.2.1] 천장부에 발생한 종방향 균열



[해설 사진 2.2.2] 도로 바닥면에 발생한 균열

[해설 표 2.2.5] 터널의 균열 변상 요약

근본원인	1. 작용하중의 변화와 관계된 원인 2. 건조수축 등에 의한 응력생성, 온도변화에 의한 신축기능상실
세부원인	1. 외적요인 - 인장응력, 압축응력, 전단응력 2. 내적요인 - 재료성질 : 수화열, 알칼리 골재반응, 건조수축, Bleeding - 설계원인 : 단면의 부족, 철근양의 부족 - 시공원인 : 양생불량, 불균질한 타설, 터널의 침하, 시공이음 불량 - 환경원인 : 동결, 융해, 동상현상, 화재, 산 또는 염류, 온도변화, 철근변형
발생현상	▸ 측벽부 배수공 불량으로 과다한 수압에 의한 수직균열 ▸ 어깨부 배면공동으로 인한 천장부 수평균열 ▸ 설계시 고려 안 된 부분의 추가적 외력에 의한 종균열 ▸ 전단력에 의해 어긋남을 동반한 전단균열 ▸ 압좌에 의해 생기는 파괴면이 불명확한 균열 ▸ 철근을 따라 발생한 균열 : 철근배근 불량, 콘크리트의 피복두께가 부족한 경우 ▸ 망상균열 : 모르터 고유의 균열, 알칼리 골재반응에 의한 균열, 시공 후 급격한 건조수축, 동결융해, 화재노출 등 ▸ 표면에서의 미세한 균열 : 매우 미세한 그물형태의 균열 ▸ Cold-Joint : 콘크리트 이어치기 부분 시공불량으로 발생
일반대책	표면처리공법, 주입공법, 충진공법, 침투성 방수제 도포공법
조사방법	▸ 정기점검 : 육안으로 균열의 방향, 균열양상을 관찰하고 균열진전 유무를 기록 ▸ 정밀점검 : 모르터 패드를 이용한 균열진전 확인 ▸ 정밀안전진단 : 초음파 속도법, 충격탄성파법 ▸ 조사항목 : 위치, 빈도, 깊이, 길이, 폭, 진행성

a. 중심하수 배수불량으로 인한 도상체수

b. 천장에서 발생된 균열

c. 콘크리트 탈락

d. 철근노출, 부식 및 콘크리트박락

e. 터널 벽체에서의 누수

f. 터널 벽체에서의 누수 및 백태

g. 재료분리에 의한 굵은골재 노출

h. 터널 천장 보수부 망상균열

[해설 사진 2.2.3] 터널의 대표적인 변상 예시

① 변상징후

(가) 콘크리트 라이닝 표면의 박리·박락, 마모 및 침식 등 콘크리트 품질이 저하되었거나,

(나) 균열 및 균열부를 통한 누수가 발생되고,

(다) 슬래브 이음부가 벌어지거나 슬래브가 변형되는 등의 현상이 나타날 수 있다.

② 조사 및 측정방법

(가) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(공통)편 『균열조사 요령』 참조하되, 원지반을 구조체로 활용하는 터널의 구조적 특성을 고려한 조사와 평가가 필요하다.

(나) 상기 변상징후를 참고하면서 정밀한 육안 관찰을 통하여 라이닝 표면의 균열 여부를 조사하고, 균열의 위치, 형상, 밀집도 등에 대한 분석과 구조적인 균열로 판단되는 균열에 대해서는 폭, 길이 등의 진행성 여부를 확인해야 한다.

(다) 균열, 박리, 박락, 내부 공동여부 등의 조사는 『일반적인 콘크리트 구조물 조사사항』을 참조하기 바람.

(라) 이음부가 벌어진 곳이 발견되었을 시에는 그 원인이 시공 잘못으로 당초부터 벌어진 것인지 시공 후 발생한 것인지를 다른 이음부와 비교하여 면밀히 관찰하도록 하고 현장조사를 통해 이격 폭을 측정한다.

(마) 발견된 변상내용은 도면에 표시하고 대표적인 변상에 대해서는 초기치를 설정한 후 그 진행성 여부를 지속적으로 주의 깊게 관찰한다.

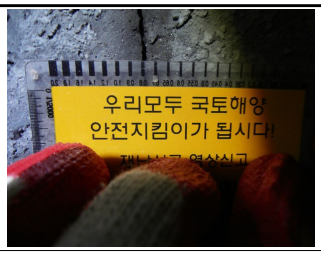
(바) 한편 변상상태에 대한 조사는 변상부위에 국한하지 말고 변상부위를 중심으로 넓은 범위를 조사함으로서 구조물의 거동을 분석하여 변상의 원인을 규명하여야 한다.

(사) 균열의 길이, 폭, 깊이는 측정자, 비파괴 조사장비 등을 이용하여 측정하고,

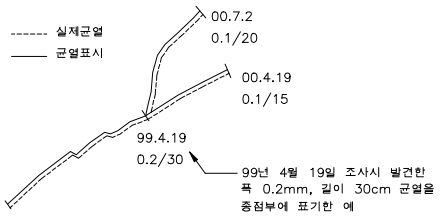
(아) 특히, 균열깊이는 초음파법을 이용하거나 직접 코어링을 통하여 확인할 수 있는데,

(자) 균열 위치를 포함한 형상, 길이, 폭, 깊이 등을 도면에 표시하고 대표적인 균열에 대해서는 초기치를 설정한 후 지속적으로 진행성 여부를 주의 깊게 관찰한다.

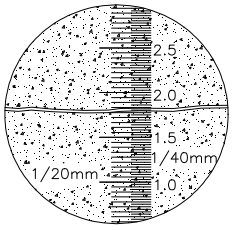
(차) 균열의 깊이와 길이가 계속 확장되고 단차가 계속 증가한다면 구조물의 이상 거동이 우려되는 심각한 상황으로 판단하여야 한다.



(a) 균열자에 의한 측정



(b) 균열 현황 표시[1)]



(c) 균열경 조사

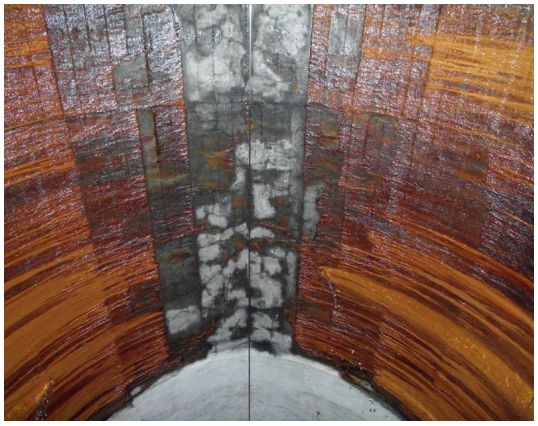
[해설 그림 2.2.21] 콘크리트 구조물의 균열조사 사례

1) 터널은 주변지반을 구조체로 활용하는 지중구조물로서, 콘크리트 라이닝에 발생한 균열에 대한 평가와 분석은 지중구조물로서의 거동 특성을 고려해 취약요소에 발생한 대표적인 균열에 한하여 진행성 여부를 확인하는 것이 바람직함.

(2) 누수

누수는 터널(특히 라이닝부)에서 여러 가지 요인에 의해 지하수가 터널내부로 유입되어 나타나는 현상으로서, 건설시에 나타난 용수는 설계에 따라 라이닝 배면으로 유도하여 수발공 또는 유입수에 의해서 집수구로 유도하여 배수 처리하는 것이 원칙이나 일부 구간에서 집중적으로 용출되거나 불규칙하게 라이닝 표면을 적시는 경우가 있다. 따라서 지금까지 누수가 없었던 장소에서 누수가 보이거나 누수위치가 변동된 경우에는 환경변화나 지반활동 발생과 관련이 있는 경우가 있으므로 터널 주변지층의 상태 및 주변 환경조건 등을 함께 조사하여 분석해야 할 필요가 있다.일반적으로 누수에 의해 발생하는 피해는 다음과 같다.

[해설 사진 2.2.4] 철도터널 측벽부의 누수



[해설 사진 2.2.5] 누수로 인한 열화 및 철근부식

① 전식

주로 철도터널의 레일에서 발생하는 현상으로 터널 주변지반으로 누전된 누설전류에 의해 레일, 타이플레이트, 체결 못 등의 궤도재료가 전기분해작용을 일으켜 부식됨으로서 레일교체의 주원인이 된다.

[해설 사진 2.2.6] 철도터널 도상 누수 전경

[해설 사진 2.2.7] 철도터널의 적색누수 전경

② 토사유출에 의한 라이닝 배면의 공동 발생

터널 주변의 지층에서 가는 모래, 실트, 점토 등이 지하수와 동시에 터널 내 배수구에 유입되어 퇴적 침전되는 현상으로서, 라이닝 배면에 공동이 생성되어 편압발생 및 배수저해의 원인이 된다.

③ 이음부 모르터의 유실

매연·배기가스에 의한 이음부 모르터의 열화부로 누수되어 열화를 촉진시키며, 이러한 현상의 반복으로 이음부 모르터가 탈락하게 된다.

[해설 사진 2.2.8] 누수로 인한 모르터 유실

[해설 사진 2.2.9] 토사유출, 세굴에 의한 공동

④ 매연·배기가스 및 누수가 유해수인 경우 라이닝 콘크리트의 열화

라이닝 콘크리트 및 이음부 모르터에 균열이 발생한 경우 매연 및 유해수 등의 침투로 상당한 깊이까지 변질되어 콘크리트 강도를 저하시키게 된다. 따라서 라이닝의 재료열화는 누수개소, 매연의 정체개소와 밀접한 관계가 있으며 이러한 부위는 한냉지에서 동결융해에 의한 박리·박락이 쉽게 발생하는 등 외력에 대한 저항력이 감소되어 라이닝의 파손을 초래하기에 이른다.

[해설 사진 2.2.10] 유해수의 영향조사(코어채취)

[해설 사진 2.2.11] 유해수에 의해 열화된 라이닝

(3) 파손 및 손상

터널의 라이닝 등이 변형이나 변위로 인해 구조물로서의 기능을 상실한 상태로서 박락 보다는 그 규모가 큰 상태를 가리키며, 추가적으로 터널의 기능상 및 구조적인 안전성에 영향을 미칠 수 있는 요인이므로 즉시 적절한 보수·보강을 실시하여야 한다.

일반적으로 재래식 철도터널의 경우에 열악한 작업여건으로 인한 보강된 라이닝의 품질불량 및 누수 집중 등에 의해 발생하는 경우가 많다.

[해설 사진 2.2.12] 터널의 천장부 붕락(변형)

[해설 사진 2.2.13] 라이닝 보수부의 붕락(파손)

[해설 표 2.2.6] 터널의 변상 요약 (붕락, 파손)

근본원인	1. 구조적 원인 2. 비구조적 원인
세부원인	1. 구조적 원인 : 지반이완 등 설계상 고려치 못한 외압에 의한 단면변형으로 콘크리트 이탈 2. 비구조적 원인 : 시공시 콘크리트 부착불량, 열화발생부위의 노후화에 의한 재료이탈 3. 부식에 의한 철근의 부피팽창이나 동결융해작용 등의 반복으로 인해 철근을 덮고 있는 콘크리트가 떨어지는 상태
발생현상	▸ 천장부 등에서 탈락된 콘크리트 조각들로 인한 기능상실 및 사고 가능 ▸ 급작스런 붕락은 통행중인 차량의 안전을 위협, 급작스런 제동 등으로 대형 사고 유발 ▸ 장기적으로 해당단면의 구조적 불안정으로 인한 단면붕괴 가능
일반대책	▸ 보강판보수 : 좁은 범위의 라이닝면에 평강과 동판 등을 앵커볼트 등으로 정착 ▸ 철망붙이기 : 작은 규모의 낙하 우려있을 때 라이닝표면에 앵커볼트 등을 사용하여 철망을 고정하여 낙하를 방지하는 공법 ▸ 보강Saddle : 휨가공한 H형강 등의 강재를 라이닝 내면에 적당한 간격으로 설치하여 단면보강
조사방법	▸ 정기점검 : 일정부위 집중된 균열유무 관찰 ▸ 정밀점검 : 박락 및 붕락이력조사, 해당지역 타격해머조사 ▸ 정밀안전진단 : 재료강도시험, 라이닝 내부결함조사(GPR) ▸ 조사항목 : 위치, 범위, 깊이, 진행성

(4) 재질 열화

① 박리, 박락

균열이 밀집되거나 폐합되는 경우에 주로 발생하는 변상으로서, 라이닝 내면의 일부(모르터 방수공을 포함)가 박리 또는 일정 두께를 가지고 분리되어 떨어지는 현상으로서, 대부분 모르터에 의한 누수 방지공에서의 박리·박락 발생사례가 많은 편이나 콘크리트 라이닝의 경우에는 폐합된 균열 및 망상균열 등에 의한 표면 분리로 발생하게 된다.

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 발생원인에 대한 전문가의 세밀한 조사와 분석이 필요하다.

[해설 사진 2.2.14] 철근부식에 의한 측벽부의 박락

[해설 사진 2.2.15] 라이닝보수부의 박락

[해설 표 2.2.7] 터널의 변상 요약 (박리, 박락)

근본원인	터널의 노후화, 균열집중 또는 폐합, 터널내 누수 보수부의 탈락
세부원인	1. 외적요인 : 터널내 누수, 유해물 유입, 동해, 망상균열 및 균열 폐합, 콘크리트내 시멘트량 및 블록시공으로 인한 줄눈재 부족, 재질불량 2. 내적요인 : 물-시멘트비 이상, 단위수량 높음 3. 부식에 의한 철근의 부피팽창으로 콘크리트의 들뜸, 동결융해작용의 반복
발생현상	► 라이닝 표면이탈로 인한 기능상실 및 대형사고 유발 ► 장기적인 라이닝 콘크리트의 열화로 단면붕괴 유발 ► 들뜸 : 철근의 부식에 의한 부피팽창으로 철근을 덮고 있는 콘크리트 들뜸, 부착력 감소로 인한 라이닝 탈락
일반대책	► 라이닝 들뜸 부위 깨어내기(제거)후 단면 보수
조사방법	► 정기점검 : 표면타격, 육안으로 들뜬 부위의 진전 및 균열 유무 조사 ► 정밀점검 : 박리·박락 이력조사, 타격해머조사, 콘크리트 강도시험, 염해 조사 ► 정밀안전진단 : 열화상 촬영, 재료강도시험, 라이닝 내부조사(GPR) ► 조사항목 : 위치, 범위, 깊이, 진행성

② 층분리

층분리는 콘크리트 내부에서 발생하는 현상으로 육안으로 식별하기 어려우므로 점검시 타격해머(고무망치 혹은 작은 망치)를 이용하여 콘크리트 표면을 두드려서 다른 부위에 비해서 중공음(속이 비어있는 소리)이 발생하는지 여부를 확인해야 한다. 층분리는 주로 콘크리트 분리타설, 철근부식 등이 원인이므로 해당부위를 조사 직후 제거하여 안전사고를 예방해야 하며 필요시 철근부식 여부를 확인하여야 한다.

③ 백태(Efflorescence)

백태는 재료의 치밀성이 약한 콘크리트나 모르터에서 시멘트 중의 수산화칼슘, 알칼리 등이 침투한 물에 의해 용해되어 구조물 내부공극을 통해 표면으로 흘러나와 물이 증발된 후 가용성(알칼리 황산염) 또는 난용성염(탄산칼슘)의 형태로 석출되거나 공기중의 이산화탄소와 반응하여 탄산화물(탄산칼슘, 탄산나트륨) 형태로 고형화된 현상으로 흔히 백색을 띤다. 백태의 성분은 발생시기, 발생 후의 경과일수, 환경조건, 첨가물, 사용원 재료 등에 따라 다르지만 기본적으로는 혼합수에 용해된 수산화칼슘과 알칼리 화합물 그리고 탄산화된 화합물로 이루어져 있다. 백태는 콘크리트 라이닝의 품질 및 누수여부를 나타내는 징후로서 발생부위에 대한 주의를 요한다.

[해설 사진 2.2.16] 터널 천장부에 발생한 백태

[해설 사진 2.2.17] 대형대피소 연결 어깨부의 백태

[해설 표 2.2.8] 터널의 변상 요약 (백태)

근본원인	1. 재료의 치밀성 부족 2. 경화된 콘크리트나 모르터 내부로 지하수나 빗물의 침투
세부원인	1. 외적요인 : 지하수의 유입, 기상조건(온도, 습도, 풍향 등) 2. 내적요인 : 콘크리트의 배합, 시공방법, 물-시멘트비
발생현상	► 주로 균열 및 시공이음부에서 누수와 동반된 형태로 발생 ► 방수 모르터 구간에서 발생
일반대책	► 물-시멘트비와 단위수량의 최소화 ► 콘크리트의 표면을 충분히 다짐 ► 포졸란계 미분말로 공극을 채움 ► 경화촉진제, 백태방지제, 방수제나 발수제 등 사용 ► 침투성 발수제 도포, 분무 ► 방수제(아크릴산 수지계, 실리콘계, 유지계 등)에 의한 박막 처리
조사방법	► 정기점검 : 육안조사(사진촬영) ► 정밀점검 : 진행속도 및 범위 관찰, 분석 ► 정밀안전진단 : 재료분석시험 ► 조사항목 : 위치, 범위, 진행성, 빈도

④ 철근노출

라이닝 콘크리트는 무근 콘크리트가 대부분이지만 터널의 갱문, 단면변화 구간, 배수구, 공동구 및 도수터널의 라이닝 등에서는 철근콘크리트와 강관이 사용되기도 한다. 일반적으로 철근콘크리트에서 철근이 부식하게 되면 철산화물과 수산화물을 만들어 내게 되는데 이는 본래 체적보다 더 커다란 체적을 갖게 되고, 따라서 철근 반경방향으로 밀어내는 응력이 유발되어 콘크리트라이닝의 국부적인 균열을 일으키게 된다. 이러한 반경방향으로의 균열은 철근길이를 따라서 계속 연결되어 발생하여 결국에는 콘크리트가 떨어져 나가는 현상을 초래한다.

강재 부식의 원인으로는 탄산화에 의한 콘크리트 알칼리성 저하, 균열을 통한 산소와 수분의 침투, 염화물의 침투 혹은 혼입에 의한 화학작용 등이 있으며, 특히 콘크리트 표면에 미세한 균열이 있으면 산소와 수분의 접촉을 쉽게 하여 부식을 촉진시키게 되므로 결국 균열이 더욱 늘어나게 된다. 강재부식에 의한 균열을 방지하기 위하여 철근을 코팅하여 사용할 수도 있으나 부착력에서 손실이 발생한다.

⑤ 탄산화

콘크리트의 탄산화는 아래와 같이 주로 콘크리트 안의 강알칼리 생성물인 산화칼슘(CaO), 수산화칼슘(Ca(OH)2, pH=12~13)이 대기중의 염화가스와 반응해 알칼리성을 잃고 pH 값이 8.5 이하로 떨어지면서 탄산화되는 현상을 말한다.

$Ca(OH)_2+CO_2 \rightarrow CaCO_3+H_2O$

양질의 콘크리트는 표층부의 조직이 치밀하기 때문에 탄산화가 매우 느리게 진행되므로 피복이 얇거나 변상을 받은 경우를 제외하고는 큰 문제가 되지 않는다. 그러나 현재에는 배기가스 및 환경의 영향으로 과거보다 탄산화가 빨리 진행되는 경향이 있으며, 이러한 콘크리트의 탄산화는 콘크리트의 수밀성을 떨어뜨리며 동시에 콘크리트 안의 강재에 녹이 생기는 원인이 된다. 과거에 시공된 터널의 라이닝 콘크리트는 무근 콘크리트가 대부분이므로 탄산화 자체가 중대한 문제를 일으킬 가능성은 적지만 최근에 시공된 지하철터널이나 갱문 등은 대부분 철근 콘크리트 구조물이므로 탄산화가 발생할 경우 강재부식의 원인이 되기도 한다.

탄산화 진행속도는 일반적으로 완만하지만, 시멘트에 포함된 물의 비율이 작을수록 느려지며 습도가 낮을수록 온도가 높을수록 빨라진다. 일반적으로는 1년에 1mm 정도 탄산화가 진행된다고 알려져 있으며 이는 주로 공기에 0.03% 정도 존재하는 이산화탄소의 영향을 받는다. 따라서 수중에서는 탄산화가 진행되지 않는다. 탄산화 이외의 라이닝 노후화 현상으로는 온도변화에 의한 라이닝 열화를 생각할 수 있다.

(가) 일반사항

☞ 신선한 콘크리트는 타설 후 대기중의 이산화탄소가 콘크리트 내부에 침투하여 콘크리트 중의 수산화칼슘과 다음과 같은 화학반응을 일으킨다.

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

☞ 신선한 콘크리트는 시멘트의 수화 생성물인 수산화칼슘의 영향으로 pH가

약 12~13인 강알카리성을 나타내지만 공용기간이 경과함에 따라 대기중의 탄산가스의 영향으로 표면으로부터 pH가 8~10 정도로 서서히 낮아진다. 이를 콘크리트의 탄산화라고 정의한다.

☞ 특히, 철근콘크리트 구조물의 경우 피복 콘크리트가 탄산화되면 철근표면에 형성된 부동태 피막이 파괴되어 강재의 부식이 급격히 촉진되므로 구조물의 내구성에 영향을 미치는 중요한 인자이다.

(나) 시험방법

☞ 탄산화 깊이 측정용 시약은 1% 페놀프탈레인수용액(에탄올 1%용액)이 가장 일반적으로 사용되고 있다.

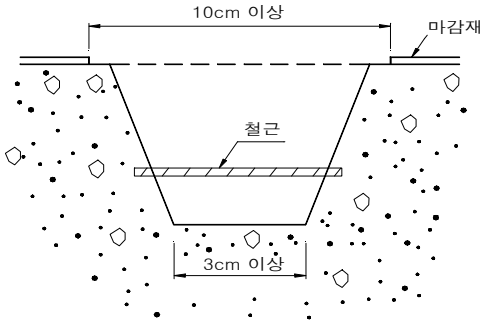
☞ 탄산화의 깊이는 콘크리트의 코어를 채취하여 측정하는 방법과 직접 콘크리트 절단면에서 측정하는 방법이 있다.

☞ 콘크리트의 코어를 채취하여 측정하는 방법

· 조사부위의 환경조건, 부재명, 위치를 기록한다.
· 절단면의 표면상태를 기록하고 사진 촬영한다.
· 철근의 종류, 직경, 피복두께, 철근방향을 기록한다.
· 코어 공시체의 표면에 부착된 콘크리트 가루를 제거하고 측정번호를 기록한다.
· 채취된 코어 공시체는 건조한 상태로 가능한 빨리 탄산화 시험을 실시한다.
· 면을 깨끗이 하고 페놀프탈레인 용액을 분무한다.
· 탄산화 깊이는 3~5 개소를 mm단위로 측정하고, 평균치를 탄산화 깊이로 한다.
· 측정 후 측정대상부재, 측정번호, 측정값과 탄산화 및 철근 부식상황을 기록하고 사진촬영을 한다.

☞ 콘크리트 절단면에서 측정하는 방법

· 조사부위의 환경조건, 부재명, 위치를 기록한다.
· 절단면의 표면상태를 기록하고 사진촬영을 한다.
· 콘크리트를 직경 5~10cm정도, 내부철근의 이면 길이 3cm이상 관찰될 때까지 절취한다.
· 철근의 종류, 직경, 피복두께, 철근방향을 기록한다.
· 면을 깨끗이 하고 페놀프탈레인 용액을 분무한다.
· 탄산화 깊이는 3~5 개소를 mm단위로 측정하고, 평균치를 탄산화 깊이로 한다.
· 측정 후 측정대상부재, 측정번호, 측정값과 탄산화 및 철근 부식상황을 기록하고 사진촬영을 한다.



[해설 그림 2.2.22] 콘크리트의 절취방법

⑥ 염화물

염화물에 의한 터널의 변상으로는 콘크리트 내부의 강재부식, 탄산화 및 알칼리 골재반응, 해수 중에 포함된 염소, 유산이온 등과 콘크리트의 수산화칼슘 반응에 의한 콘크리트의 다공질화, 균열, 표면의 박리 등이 있다.

염해는 대기 중으로 날아오는 바다 염분에 의한 경우, 염분을 충분히 제거하지 않은 바다모래를 재료로 사용한 경우, 해저터널 등에서 염분을 포함한 해수의 누수에 의한 경우 등을 생각할 수 있다. 콘크리트 내부로의 염분침투는 강재부식을 일으킬 가능성이 있으며, 강재부식과 체적팽창으로 콘크리트 내에 균열이 발생하며 이러한 균열은 강재부식을 촉진시키기도 한다.

콘크리트 자체의 열화에 대해서는 염소이온과 수산화칼슘의 반응에 의해 염화칼슘, 칼슘클로로 알루미늄의 생성과 그로 인한 콘크리트의 다공질화, 표면 박리, 균열 발생 및 유산이온과 수산화칼슘의 반응에 의한 엔크린가이드의 생성과 균열 발생을 생각할 수 있다. 대기 중으로 날아오는 염분의 양이 해안에서 300m이내에 가장 많다는 보고가 있으므로 이러한 지역에서 철근콘크리트 구조물의 내구성을 고려할 때 염해는 변상의 중요한 요인이 된다. 아래 [해설 표 2.2.9]에 구조물에 따른 허용염분량을 제시하였다.

[해설 표 2.2.9] 구조물별 허용염분량

사 용 조 건	시멘트 중량에 대한 염화이온(%)
Prestressed Concrete	0.06
습기가 있고 염분에 노출된 지역의 일반 구조물	0.10
습기가 있고 염분에 노출되지 않은 지역의 일반구조물	0.15
지상에 건설된 건조상태의 구조물	제 한 없 음

터널 주변 지반의 지하수에는 라이닝 콘크리트에 유해한 성분의 물질이 포함되어 있을 수 있으며, 특히 지하수의 성분 중 산성이온이 많이 함유된 경우에는 조기에 라이닝의 열화를 초래하는 원인이 된다.

유해수로 분류되는 지하수는 다음과 같다.

(가) 강산성의 온천수

(나) 광상을 따라서 용출하는 지하수

(다) 탄산가스가 수중에 용존하는 지하수

(라) 죽은 식물의 불완전한 분해에 의해 부식산을 포함한 지하수

유해한 지하수가 직접적으로 영향을 미치는 라이닝 배면과 균열을 통해 새어든 유해수를 접하는 라이닝 내부 및 표면에서는 열화와 강도저하가 일어날 가능성이 있다. 또한, 온천지대, 광산지대 안의 터널에서는 강산성의 용수, 황산이온을 다량 포함한 용수, 황화수소와 아황산가스를 포함한 온천이 콘크리트에 상당한 침식작용을 일으킬 가능성이 있다. 이러한 유해수의 영향 여부는 누수의 pH조사, 석출물과 같은 반응생성물의 분석을 통해 원인 추정이 가능하다. 참고로 [해설 표 2.2.10]에 황산염을 포함한 토양과 물이 각각 콘크리트에 미치는 영향을 제시하였다.

[해설 표 2.2.10] 황산염이 콘크리트에 미치는 영향

황산염 작용정도	토양시료 중 가용성 황산염(SO_4)(%)	수용액 중 황산염(SO_4) (ppm)
영향이 거의 없음	0.00 ~ 0.10	0 ~ 150
미세한 영향	0.10 ~ 0.20	105 ~ 1000
상당한 영향	0.20 ~ 0.50	1000 ~ 2000
매우 많은 영향	0.50 이상	2000 이상

2. 터널주변 상태 등

1) 배수상태

배수상태에 대한 조사는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 터널 현장조사편 2-12page 사. 배수상태조사』를 참조하기 바람.

2) 지반상태

지반상태에 대한 조사는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 터널 현장조사편 2-13page 아. 지반상태조사』를 참조하기 바람.

3) 갱문상태

갱문상태에 대한 조사는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 터널 현장조사편 2-13page 자. 갱문상태조사』를 참조하기 바람.

4) 특수조건

특수조건에 대한 조사는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 터널 현장조사편 2-13page 차. 특수조건조사』를 참조하기 바람.

2) 정기점검 점검항목

점 검 부 위	점 검 항 목	점 검 장 비
터널내부	<간단한 외관조사> - 라이닝 등의 변상 : 균열, 누수 등 - 부대시설 등 : 상태변화 여부	- 망원경 - 카메라 - 필기도구 - 줄자 - 망치 - 손전등
터널외부	<간단한 외관조사> - 갱문의 주요변상 : 균열, 침하 등 - 기타	

【해설】

정기점검은 경험과 기술을 갖춘 자에 의한 세심한 육안검사 수준의 점검으로서 간단한 점검기구(손전등, 망치 등)에 의하여 터널에 발생한 결함과 기능적 상태를 판단하고 시설물이 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는 확인하기 위하여 실시하는 관찰로 이루어지는 순찰과 유사한 성격의 점검을 가리킨다.

정기점검시 점검자는 시설물의 전반적인 외관형태를 관찰하여 심각한 손상·결함의 가능성을 발견할 수 있도록 세심한 주의를 기울여야 하며, 이상이 발견되는 경우 즉시 보고하여야 한다.

육안조사시에는 시설물의 상태를 주로 육안에 의해 판단하고 터널의 안정상태를 평가하는 것으로서 육안검사시의 유의점은 다음과 같다.

(1) 라이닝의 각 부위에 박락의 흔적이 보이지는 않는지? 혹은 바닥면상에 라이닝 콘크리트의 조각이 떨어져 있지는 않은가?

(2) 이제까지 보이지 않았던 균열이나 다량의 누수가 생기지는 않았는가?

(3) 라이닝의 열화정도는 어떠한가? (가는 균열이 망상으로 펼쳐져 있다. 혹은 다른 부분과 비교하여 변색하고 있다. 또는 다공질 형태로 표면이 부슬부슬 하게 보인다. 백색의 생성물이 표면에 나타나 있다 등의 경우는 라이닝이 상당히 열화하고 있다고 판단해도 좋다.)

(4) 아치부에 균열 혹은 줄눈을 따라 큰 어긋남이 생기고 있지는 않은가? (단차가 생기고 있는 경우는 지압대책도 겸해 검토할 필요가 있다.)

(5) 아치부에 들뜸현상이 보이지는 않는가? (일반적으로 압좌, 전단균열이 있으면 균열에 걸쳐 들뜸현상이 발생하고, 박락되기 쉽다.)

(6) 보수·보강된 부위의 재료는 안정한가? (누수대책용으로 시공된 모르터의 정착, 보강판 Net의 Anchor, 보강 Saddle의 쐐기 등)

정기점검을 실시하는 경우의 구체적인 점검항목과 활용장비는 [해설 표 2.2.11]과 같은데 특히, 육안조사시에 점검자는 시설물의 양호 및 불량한 상태를 쉽게 판정할 수 있는 기준을 숙지하고 있어야 하고 이러한 판정기준을 기호나 적정한 용어를 사용한 문장으로 표기, 서술할 수 있어야 한다.

[해설 표 2.2.11] 정기점검시의 점검항목 및 장비

점 검 부 위	점 검 항 목	점 검 장 비
입·출구부	·균열 ·누수 ·백태 ·박리·박락, 함몰 ·철근부식 여부(표면노출) ·부등침하, 이동	·망원경 ·카메라 ·필기도구 ·줄자 ·망치 ·손전등
측벽부 (좌·우)	·균열 ·누수 ·백태 ·박리·박락, 함몰 ·철근부식 여부(표면노출)	·망원경 ·카메라 ·필기도구 ·줄자 ·망치 ·손전등
천 장 부	·균열 ·누수 ·백태 ·박리·박락, 함몰 ·철근부식 여부(표면노출) ·조명상태	·망원경 ·카메라 ·필기도구 ·줄자 ·망치 ·손전등
바 닥 부	·배수시설, 배수상태 ·궤도이상 ·노면상태(침하, 융기 등)	·카메라 ·손전등 ·필기도구
옹 벽	·균열 ·누수 ·백태 ·박리, 박락, 함몰 ·부등침하	·카메라 ·필기도구 ·줄자 ·망치 ·손전등
사 면	·사면의 구분(절토, 성토) ·사면의 변형 유무 ·사면보호공의 종류, 적정성	·카메라 ·필기도구

정기점검은 다시 계측조사와 육안조사 및 기술적 유추에 의한 조사 등으로 세분할 수 있으며 그 내용은 다음 [해설 표 2.2.12]에 나타낸 바와 같다.

[해설 표 2.2.12] 정기점검의 구분

종 류	방 법	비 고
계측조사	기존 계측기가 설치된 지점에 대한 계측치를 가지고 양호, 불량상태를 파악한다.	
육안조사	육안관찰에 의해서 양호, 불량을 판정한다.	
기술적 유추에 의한 조사	육안판단이 어려운 부분에 대해 기존의 경험 등을 바탕으로 양호, 불량 등을 판정한다.	

일반적으로 토목구조물은 계측조사의 결과에 대해 양호, 불량을 단독으로 판정하는 값은 정해져 있어도 전체적인 판정을 위한 절대적 기준치는 없지만 반면, 결과에 대한 어떠한 경향이나 원인을 추정하는 대표적인 사례는 있다. 이는 터널이란 구조물의 기능을 양호, 불량한 상태라 함은 한 가지 요소로 판정되는 것이 아니라 재질, 구조, 환경이란 측면에서의 종합적인 판단과 분석이 필요하고, 각기 개별성이 강하여 일률적인 기준치를 적용하기 어렵기 때문이다. 따라서 계측조사는 육안으로 하되 기존의 계측장치가 설치되어 있을 때는 그 계측장치를 활용하며, 계측된 측정치가 표준치를 상회함에도 불구하고 결함이 있다고 인정되는 경우가 있으므로 잠재적 결함을 파악할 수 있도록 지속적인 관찰을 필요로 한다.

육안조사는 실제로 경험이 풍부한 기술자의 지식과 경험을 토대로 시각, 청각을 사용하여 시설물의 양호, 불량상태를 판정하는 것이다. 그러나, 이러한 판정은 점검자의 주관적인 견해로 인한 개인차가 커서 조사할 때마다 점검자의 심리적 상태의 영향을 받기 쉽다.

기술적 유추에 의한 조사 또한 점검자의 경험적인 측면의 요소가 판정에 중요하게 작용하므로 개인의 능력 차에 의한 오차를 줄이기 위해서는 직접적인 검사를 통한 조사양식을 만들고, 이 양식에는 다른 유사한 실례를 참고로 하여 그 상태를 유추할 수 있도록 내용이 수록되어야 한다. 특히, 조사대상 시설물의 내하성, 내구력에 영향을 미칠 우려가 있는 결함상태를 중심으로 먼저 조사가 시행되어야 한다.

이들 각각에 대한 조사방법을 간략하게 나타내면 [해설 표 2.2.13]과 같다.

일반적으로 정기점검의 육안조사는 가장 손쉽게 수행할 수 있는 조사방법으로서, 시설물의 결함을 찾아낼 수 있는 일차적인 조사에 해당한다. 그러나 다른 조사방법에 비해 정밀도가 낮으므로 정밀진단 단계에서의 육안조사시에 실시되는 측정장비에 의한 정밀한 측정과는 달리 균열, 백태, 변형 등을 포함한 단순항목에 대한 조사 위주로 진행된다. 즉, 터널의 입·출구부에서는 누수량, 수질, 수온 등을 조사하게 되고, 터널 본체에서는 바닥면 상태 및 주행성, 조명·환기 등의 부속시설의 상태 및 안전성을 조사하게 된다. 이 밖에도 사용성에 간접적인 영향을 미치는 청결상태, 퇴적물 적재상태 등의 조사와 터널 내 환기 및 조명상태 및 부속시설의 안전상태와 기존 보수부위에 대해 세밀한 조사를 실시하여야 한다.

[해설 표 2.2.13] 조사항목별 조사방법

조사항목	조 사 방 법
균 열	육안으로 균열의 위치, 방향, 패턴 등을 관찰하고 증가한 균열의 길이를 파악한다. 또한 내부 철근의 녹슬음에 의한 오염의 유무도 관찰한다.
들 뜸	육안으로 콘크리트의 들뜸 유무를 관찰한다. 또한 들뜬 부분의 철근부식 유무를 관찰한다(망치사용).
박 락	육안으로 콘크리트가 박락되어 있는 부분의 유무를 관찰한다.
누 수	육안이나 문진 등으로 누수의 범위나 누수량을 확인한다.
백 태	콘크리트 면을 손으로 세게 눌러서 분상물의 부착으로 판단한다.
터널 사면	사면의 변형유무

육안조사는 정도가 떨어지고 주관적인 경향이 강한 조사이므로 반드시 반복조사를 원칙으로 하되 의심나는 곳은 표기해 두었다가 추후 세밀하게 다시 조사하도록 하는 것이 좋다. 특히 육안조사시에는 앞에서 열거한 바와 같이 사전에 지반조사, 설계 및 시공관련 자료들과 전술한 주된 조사항목들을 숙지하고 이들 항목을 중심으로 한 조사가 이루어지도록 해야 한다. 또 측벽부는 보행으로, 천장부는 작업시간을 별도로 확보하여 작업대를 설치하고 그 위에서 시행해야 하는데, 최근 대단면 터널의 건설로 인해 도보에 의한 육안조사시 천장부에 발생한 균열에 대한 조사가 현실적으로 어려운 상황이므로 작업대를 활용하여 조사를 실시해야 한다.

조사방법은 손전등을 이용하여 육안 및 해머 등을 사용한 타격검사로 수행한다. 조사과정은 라이닝부와 바닥부, 부속시설, 터널 주변환경 등으로 나누어 시행하고, 조사항목은 라이닝에 대해서는 단면변형, 압출, 균열, 바락, 줄눈부 단차 누수, 열화 등을, 바닥부에 대해서는 궤도이상(침목파손, 궤도틀림, 체결구파손 등), 측구변형, 노반팽창, 침하 등을, 부속시설에서 대해서는 작동상태, 오염 등을, 환경조건에 대해서는 터널주변의 지형조건, 지표수 분포 및 흐름패턴, 토지이용 상황 등에 대해 조사한다.

정기점검의 보고서 서식은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 (2010.12) 부록 2』 보고서 서식(106page)을 참고하여 작성한다.

3) 정밀점검 점검항목

점 검 부 위	점 검 항 목	점 검 장 비
터널내부	<면밀한 외관조사> - 라이닝 등 주요변상 · 균열, 누수, 파손 및 손상 · 박리, 박락, 백태 · 철근노출 등 - 기타조사 <간단한 측정> - 반발경도법에 의한 강도조사 - 탄산화 시험	- 슈미트 해머 - 균열경 및 균열측정기 - 망치, 카메라, 손전등, 필기도구, 줄자, - 탄산화 시험기구
터널외부	<외관조사> - 갱문의 주요변상 · 균열, 침하 등 - 기타조사	

【해설】

정밀점검은 일정한 주기로 계획된 정기적 점검으로서 시설물의 현 상태를 정확히 판단하고 최초 또는 이전에 기록된 상태로부터의 변화를 확인하며 구조물이 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는지 확인하기 위해 필요한 면밀한 육안검사와 간단한 측정기구에 의한 측정으로 이루어진다.

터널의 경우 편토압이나 침하, 지질상태에 의한 터널 시설물의 결함 상태를 고려하여야 하며 콘크리트의 풍화나 철근부식 등 시간경과와 함께 발생할 수 있는 재료의 열화에 기인한 변상 여부를 관찰, 분석해야 한다. 면밀하고 지속적 감시가 필요한 시설물 부위는 사전현장조사, 구조해석 및 구조계산을 통하여 시설물의 안전성을 결정하는데 정밀점검 시의 구체적 점검항목과 장비는 [해설 표 2.2.14]와 같다.

보고서 서식은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 (2010.12) 부록 2』 보고서 서식 (121page)을 참고하여 작성한다.

[해설 표 2.2.14] 정밀점검시의 점검항목 및 장비

점검부위	점 검 항 목	점 검 장 비
입·출구부	·균열 - 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진전여부 ·누수, 백화 ·박리, 박락, 함몰 ·철근 부식 여부 ·부등침하 ·배수처리 ·콘크리트 강도-표면타격법(슈미트해머)	·슈미트 해머 ·균열경 및 균열측정기 ·망치, 엔빌, 카메라, 손전등, 필기도구 줄자, 교통규제기구
천 정 부 어 깨 부	·균열 - 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진전여부 ·누수, 백화 ·박리, 박락, 함몰 ·철근 부식 여부 ·조명상태 ·농도 ·콘크리트 강도 - 표면타격법(슈미트해머)	·슈미트 해머 ·균열경 및 균열측정기 ·망치, 엔빌, 카메라, 손전등, 필기도구 줄자, 교통규제기구
측 벽 부 (좌·우)	·균열 - 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진전여부 ·누수, 백화 ·박리, 박락, 함몰 ·철근 부식 여부 ·콘크리트 강도 - 표면타격법(슈미트해머)	·슈미트 해머 ·균열경 및 균열측정기 ·망치, 엔빌, 카메라, 손전등, 필기도구 줄자, 교통규제기구
바 닥 부	·궤도이상 ·배수시설 ·노면상태(침하, 균열 등) ·교통소통상태 및 안전사항 ·용수	·육안조사
비 탈 면	·사면의 안정 상태, 변형 유무, 보호공	
기 타	·매연상태, 유지관리용 사다리, 부속시설물의 상태	

4) 정밀안전진단 점검항목

정밀안전진단 시의 사전조사는 [표 2.4]에 의하고, 정밀안전진단 항목 및 방법은 [표 2.5]에 준하여 실시하며, 추가로 필요한 항목은 관리주체와 협의한다.

[표 2.4] 터널의 일반적인 사전조사 항목

사전조사 항목	검 토 내 용
기초 자료조사 및 검토	- 과업지시서 - 지반조사 현황 및 결과 - 지반분류 현황 및 평가 - 지반 및 재료 특성치 조사 - 기타 폐광 등 터널과 관련된 모든 자료 조사
터널 해석방법 및 결과분석	- 사용 프로그램 확인 - 해석용 입력자료 분석 - 표준 지보패턴 - 콘크리트 라이닝 해석 - 보조 공법의 유무 및 적정성
설계도면 검토	- 터널의 단면 검토 - 방수 및 배수 시스템(System) - 콘크리트 라이닝 철근보강 유무 - 타입(Type)(패턴별 적용구간) - 발파패턴 - 시공순서도 - 해석결과와 설계도면 일치성 비교

【해설】

자료조사는 기존의 문헌과 기록에 의한 터널의 이력 및 구조, 제원, 과거 점검자료, 이미 발생했던 결함에 관한 보수이력 및 기존의 계측자료 등을 조사하고 이러한 조사된 다량의 정보들은 체계적으로 DB화하여 추후의 유지관리에 유용한 자료로 활용해야 한다. 점검계획 중 기존의 자료조사에 관한 항목 및 그 활용 방법은 [해설 표 2.2.15]와 같다.

환경조사는 터널이 위치하고 있는 지역의 지형조건 및 지질조건, 지하수 조건, 기상조건, 식생조건, 토지이용 조건과 이들의 변동상황을 조사함으로서 터널의 안전성에 미치는 영향에 관하여 분석하기 위한 것이며, 터널의 환경조사시 항목과 방법, 유의사항에 대해서는 [해설 표 2.2.16]에 나타낸 바와 같다.

[해설 표 2.2.15] 자료조사시 기존자료의 활용법

구 분		활 용 내 용	활 용 방 안
설계도서	준공도면	설계도면	시설물 제원 및 설계상태 파악, 취약부 파악
	보수도면	보수내용	보수내용 평가 및 손상, 변형, 열화정도 파악
	구조계산서	시설물 설계에 적용된 설계기준 및 계산 내용	구조계산의 적정 여부 분석
	시공상세도	주요부위 시공 상세도	주요부 시공상태 파악
	지질조사보고서	시설물 주변 지질상태	구조물 주변지질의 취약지점
	토질보고서	시설물 주변 토질 및 기초 상태	구조물 주변지질 기초지반 안정성 파악
시방서	특별시방서	시설물에 적용한 특별시방 내용	설계지침, 구조계산서, 지질보고서와 연계분석
사진	주요 시공사진	시공 당시 주요공정의 작업내용	주요부 시공상태 파악
	주요 결함부위	유지관리시 파악된 주요 결함부위 상태	손상, 변형, 열화정도 파악
	보수작업 사진	보수작업 방법과 상태	보수 작업 상태 파악
재료시험	재료시험성적서	시공당시 재료의 품질상태	시공시 사용된 자재의 적정 사용여부
	관리 및 선정시험 기록	시공당시 재료의 품질 및 관리상태	시공시 사용된 자재의 품질 및 관리실태 파악
유지관리자료	보수이력서	보수경위 및 방법	손상, 변형, 열화정도 파악 및 보수작업의 적정여부
	사고이력서	부재의 손상현황 및 보수현황	부재의 손상 및 보수현황, 보수내용 평가 및 열화정도 파악
	점검이력서	점검 및 진단현황	안전점검 및 정밀진단 자료분석, 시설물 현황파악
	터널관리대장	연도별 시설물 관리 현황	시설물 관리실태 파악
관련 계산서	수리계산서, 공법검토서, 기타	구조물 안전성 현황	구조물 안전상태 파악

[해설 표 2.2.16] 터널의 환경조사 항목과 방법

조 사 항 목		조 사 방 법	비 고
지형조건	·터널종단면, 횡단면 평면 ·토피 ·편압지형 ·사면활동, 붕괴지 ·미지형(국부적인 지형 등)	·공사지, 공사기록 ·지형도 ·측량 ·항공사진, 경사사진 ·현지답사	·근접공사나 재해에 의한 지형의 변화에 유의
지질조건	·지형분포 ·지질구조(단층대, 습곡 등) ·주향, 경사 ·풍화, 변질 ·팽창성 ·물리적 성질, 역학적 성질	·공사지, 공사기록 ·지형도 ·지질도 ·항공사진 ·지질조사 ·토질조사 ·현지답사 ·시추조사(샘플링)	·필요에 따라 시료시험을 추가적으로 실시
지하수조건	·지하수위 ·지하수 유로 ·호수, 늪, 연못의 분포 ·지하수 이용상황 ·수온 ·수질	·공사지, 공사기록 ·지형도 ·수문지질도 ·현지답사 ·수온측정 ·수질검사	·유해수의 영향이 우려될 경우에는 반드시 수질 검사 실시
기상조건	·기온(갱내온도 포함) ·동결지수 ·강수량 ·적설량 ·지진이력	·강우(설) 양 측정 ·기온측정	·한냉지 터널에서 특히 중요하게 고려 ·폭우 등으로 인한 급격한 지하수위의 변동, 지진의 피해에도 주의
식생조건	·식생분포 상황 ·식생의 기울기 ·식생의 연륜이상	·항공사진, 입체사진 ·현지답사	·식생이상에 의한 사면활동, 붕괴지 판단 ·벌채 등 식생환경 급변에 유의
토지이용조건	·토지이용 ·근접 구조물 시공 ·개발계획	·토지이용도 ·현지답사	·인접 토지의 개발 또는 공사계획은 사전에 자료를 입수하여 사전협의, 근접시공에 따른 발생 가능한 문제점에 대한 신속한 조치 강구

[표 2.5] 터널의 일반적인 정밀안전진단 항목 및 방법

점검부위	진 단 항 목	검사방법
터널 내부	○ 균열조사 – 위치, 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진행성여부 등	초음파 검사법 균열측정기 육안조사 등
	○ Joint부 조사(조적식라이닝) – 위치, 크기, 진행성, Seal재열화 등	육안조사 균열측정기 등
	○ 누수조사 – 위치,누수량, 탁도, 수질 등	적외선 탐사법 육안조사 등
	○ 콘크리트라이닝 – 콘크리트 두께조사 – 콘크리트 강도 – 철근배근 탐사 및 철근부식도 측정 – 열화조사 · 파손 및 손상, 박리, 층분리 및 박락, 백태, 철근노출 – 탄산화 및 염화물 함유량조사	탄산화시험 레이다탐사법 충격 탄성파 시험 염화물함유량시험 표면타격법 코아채취 시험 초음파 속도 육안조사 등
	○ 내부결함 탐사 – 공동 및 공극 조사 – 강지보공 조사, 설치간격, 규격 등	레이다 탐사법 내시경조사 육안조사 등
	○ 터널 계측 – 내공변위, 단면측량, 라이닝응력측정, 변형률측정	광파측량기, 내공변위계 등
	○ 지반상태 – 풍화정도, 일축압축 강도, R.Q.D.	시추조사 육안조사 등
	○ 배수·공동구상태조사 – 배수상태 – 퇴적물 상태 – 뚜껑파손 상태	육안조사 내시경 조사 등
	○ 진동 및 소음 상태	진동 및 소음측정기 등
	○ 기타조사	육안조사 등
터널 외부	○ 균열조사 – 위치, 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진행성여부	초음파 검사법 균열 측정기 육안조사 등
	○ 누수조사 – 위치, 누수량, 탁도, 수질 등	수질 검사 육안조사 등
	○ 콘크리트 강도 – 반발경도 시험, 일축압축강도	반발경도법 코어채취시험
	○ 터널주변 조사 – 지표 및 지질조사 – 사면조사 – 토지이용조건	보링조사 육안조사 등
	○ 기타조사	
기타	– 표지판 여부 – 퇴적물 상태 – 안전 및 유지관리 계획여부, 청소상태 – 시설물 이력카드 작성 여부 및 보수이력 확인 – 진동 및 소음상태	

《참고사항》

정밀안전진단을 위한 점검은 정밀점검과정을 통해서는 쉽게 발견하지 못하는 결함부위를 발견하기 위하여 행해지는 정밀한 육안조사 및 측정장비에 의한 조사를 포함하는 근접 점검이다. 필요한 경우 차량통제나 단수 등을 실시하여야 하며 점검용 접근장비, 비계, 작업선과 같은 특수장비 및 특수기술자가 필요하다.
먼저, 육안조사의 결과는 전체 구조물의 표면에 대하여 도면에 기록하여야 하며, 구조물 전체에 대한 조사결과 분석 및 상태평가가 포함되어야 한다. 결함의 유무 및 범위에 대한 확인이 필요한 때에는 부분적인 파괴시험과 비파괴 현장시험 및 기타 필요한 재료시험 등의 실내시험을 병행해야 하며, 콘크리트 재료의 열화정도, 배면지반의 상태 등 정량적인 판단을 주로 한다. 또한 정밀안전진단에서는 노후화 또는 손상정도에 따라 구조물의 성능이나 잔존수명을 평가하기 위한 안전성 평가가 포함되어야 한다. 안전성 평가를 위하여 시설물의 안정과 내하력, 내진성 등을 결정하는데 필요한 조사나 시험을 실시할 수 있다.
정밀안전진단을 실시한 결과, 시설물의 재해예방 및 안전성의 확보가 필요한 경우에는 적정한 보수·보강공법을 제시하여야 한다.
보고서 중 일부는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 (2010.12) 부록 2』 보고서 서식 (121page)을 참고한다.

1. 터널내부
   (1) 균열조사
      『나. 터널의 상태변화 점검 항목-균열』를 참조하기 바람.

   (2) Joint부 조사
      ① 변상징후
         (가) 흐름방향에 직교한 이음부(횡방향이음부)에 침식과 균열이 발생되어 있다.
         (나) 이음부에 콘크리트 탈락, 철근노출, 지수판 손상 및 굵은 골재노출 등의 징후가 있다.
         (다) 이음부에서 단차 또는 부등 이동이 발견된다.

      ② 조사 및 측정방법
         (가) 정밀한 근접육안조사를 실시하여야한다.
         (나) 상기 징후를 참조하면서 정밀한 육안관찰을 통하여 이음부의 열림 여부를 조사하고,
         (다) 손상이 발생된 부위의 위치, 형상, 탈락 및 침식범위 등에 대하여 최대치를 중심으로 측정을 실시한다.
         (라) 초기치 중심으로 변화양상을 기록하고, 이음부가 벌어진 곳이 발견되었을 시에는 그 원인이 시공 잘못으로 당초부터 벌어진 것인지 시공 후 발생한 것인지를 다른 이음부와 비교하여 면밀히 관찰하도록 하고 조사 당시의 벌어진 정도를 측정한다.
         (마) 발견된 변상내용은 도면에 표시하여 초기치를 설정한 후 그 진행성 여부를 지속적으로 주의 깊게 관찰한다.

(바) 단차가 발생한 이음부는 이동방향과 정도를 자 또는 줄자를 이용하여 측정하도록 하고, 기타 이음부에 대하여도 다시 한번 단차발생 여부를 조사한다.

(3) 누수조사

① 손상징후

(가) 누수발생시 나타나는 징후에는 누수부에서 이끼가 등의 발생, 흐름의 발생 등 누수징후가 발견되거나,

(나) 용해성 암반이 존재하거나, 누수위치에서 탁도나 색깔의 변화가 발생되며,

(다) 기초 암반층에 매설된 간극수압계나 양압력계 등에서 과다한 수압 계측결과로 나타날 수 있다.

② 조사 및 측정방법

(가) 『나. 터널의 상태변화 점검 항목-누수』를 참조하기 바람.

(나) 수질 조사 및 침전물 분석 시험은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 터널 현장조사편 2-12page 바. 수질조사 및 침전물 분석 시험』를 참조하기 바람.

(다) 상기 징후를 참고하면서 정밀한 육안관찰을 통하여 누수, 습지 발생여부 등을 조사하여야 한다.

(라) 누수지점의 누수량, 누수면적, 라이닝 배면 토사의 포함 여부 등을 줄자, 비커 등을 이용하여 측정하고,

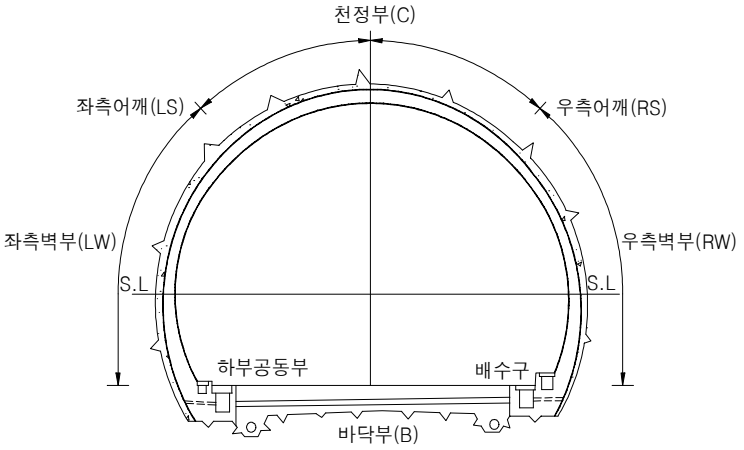
(마) 특히 과도한 침투에 의한 것인지 또는 우수 혹은 인근 지점에서 배수공의 파손에 의한 것인지 등을 굵은 철선을 이용하여 찔러보거나 직접 시굴하여 확인할 수 있으며,

(바) 누수위치를 포함한 누수면적, 누수량, 세굴물질 등은 도면에 표시하여 초기치를 설정하여 그 진행성 여부를 지속적으로 주의 깊게 관찰한다.

(사) 누수가 심하게 발생하는 경우 탄성파 토모그래피, 전기비저항검사, 탄성파 검사, 시추조사, 추적자 조사 등의 조사를 실시하여 누수경로를 파악한 후 조사된 결과를 도면화하여 기록으로 남겨야 한다.

(4) 콘크리트라이닝

일반적으로 터널의 본체부에 해당하는 터널 라이닝의 유지관리는 터널의 형식별로 다소의 차이는 있으나 대체로 다음 <그림 2.2.23>과 같이 구분할 수 있다.



[해설 그림 2.2.23] 터널 라이닝의 유지관리 부위 (도로터널)

(가) 천장부

터널 라이닝에서 천단을 포함한 좌우어깨사이의 구간을 가리키며, 배면지반의 아칭효과에 의해 비교적 적은 하중이 작용되나 시공상의 문제로 인해 천장부 라이닝 배면에 공동이 존재하는 경우에는 인장모멘트가 발생하기도 한다. 터널의 종류에 따라서는 브라킷과 환기팬이 이 부위에 설치되기도 하므로 균열, 누수, 배면공동 등에 대한 조사를 철저히 해야 한다. 유지관리시 조사해야 하는 항목으로는 균열, 박리·박락, 누수, 백태, 줄눈깨짐, 단차, 압좌, 파손, 동해, 고드름, 오염 등을 들 수 있는데, 나타난 현상별로 그 원인을 규명하여 구조적 혹은 비구조적인 영향에 의한 것인지에 대한 분석이 필요하다.

(나) 아치부(어깨)

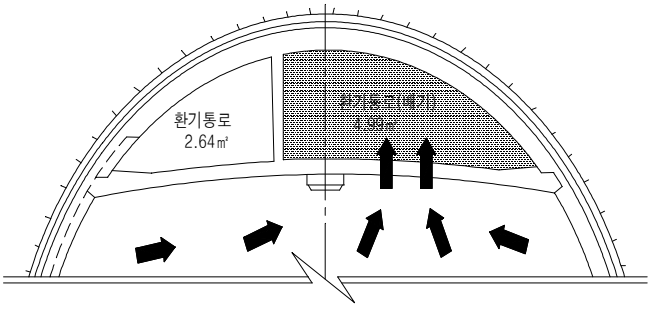
터널 라이닝의 천단과 스프링라인(S.L)의 중간점까지를 가리킨다. 이 부위는 구조적인 특성상 터널에 작용하는 상재하중을 분배시켜 터널의 안전성을 도모하므로 점검시 변상이 발견된 경우에는 정확한 원인규명과 함께 적극적인 조치를 취한다.

어깨부에 주로 발생하는 변상으로는 균열, 박리·박락, 누수, 백태, 줄눈깨짐, 단차, 압좌, 파손, 동해, 고드름, 오염 등이 있으므로 유지관리시 이에 대한 발생여부, 상태의 진전 등에 대한 조사를 실시한다.

(다) 환기 덕트

일반적으로 도심지 도로터널에 적용된 내부구조물로서 터널내부의 환기를 목적으로 설치된 시설이다. 환기 덕트에 의한 터널내부 환기방식은 반횡류식과 횡류식 등으로 구분할 수 있다.

유지관리시의 조사항목으로는 균열, 박리·박락, 백태, 철근노출, 오염, 파손 등이 있으며 이 밖에도 환기덕트부의 경우에는 대부분 철근이 배근되어 있으므로 누수 등에 의한 부식여부를 확인해야 한다.



[해설 그림 2.2.24] 도심지 도로터널의 환기덕트 사례

(라) 측벽부

터널 라이닝의 어깨 하부로부터 바닥부에 이르는 구간을 가리킨다. 터널의 종류에 따라 차이는 있으나 각종 케이블과 부속 설비시설이 설치되며,

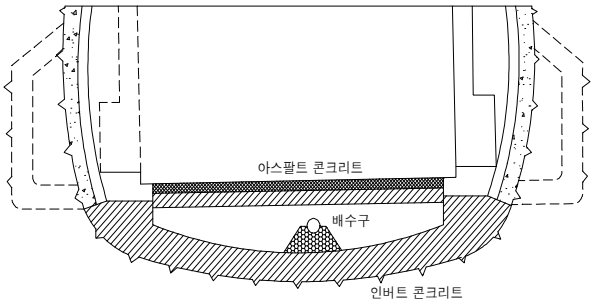
미관과 조도를 위해 일부 도로터널에는 타일이 설치되기도 한다.
유지관리시 조사해야 하는 항목으로는 균열, 박리·박락, 누수, 백태, 줄눈 깨짐, 타일탈락, 단차, 압좌, 파손, 동해, 측빙, 오염 등이 있는데 한랭한 기온에 의해 산악터널의 경우에는 누수시 측빙, 도로터널의 경우에는 갱구부 타일탈락 등이 우려되므로 주의를 요한다.

(마) 하부공동구

주로 도로터널에 시공되는 시설로서, 광통신 케이블 및 일반통신, 각종 케이블의 보호를 위해 마련된 터널의 바닥면 하부의 공간을 가리키며, 일반적으로 양측 배수구와 연하여 시공되므로 이물질의 퇴적이나 침수, 파손 등이 발생할 우려가 있으므로 이에 대한 조사를 필요로 한다. 유지관리시 조사해야 하는 항목으로는 균열 누수, 파손, 토사유입, 침수, 오염, 이물질 퇴적 등이 있다.

(바) 인버트부

터널의 주변지반의 상태가 불량한 경우 즉 파쇄대가 존재하거나 지반강도가 연약한 지반의 경우에 터널단면의 바닥부분에 설치되어 터널단면을 폐합시키기 위해 숏크리트 또는 콘크리트 등으로 시공한 지보부재로서, 공용중인 터널에 과도한 상재압이나 측압이 작용하게 되는 경우 터널의 안전성을 확보하는데 기여하는 바가 크다.
인버트 라이닝에 대해 유지관리시 조사해야 하는 항목에는 설치여부, 균열, 변형, 파손, 누수, 토사유입, 침하, 융기 등이 있으며, 다른 부위의 변상에 원인을 제공하는지 여부에 대한 조사를 실시해야 한다.



[해설 그림 2.2.25] 인버트 라이닝 콘크리트의 사례

(사) 시공이음부

터널시공의 편의 및 시공관리를 위해 터널의 진행방향으로 콘크리트 라이닝을 일정한 간격(span)으로 이어 치기 시공된 콘크리트 라이닝의 연결부를 가리킨다. 특히 이 부위는 대부분의 공용중인 터널에서 각종 변상이 자주 발생하는 부위이므로 현장조사시 면밀한 관찰을 요한다. 특히 라이닝 배면에 지하수가 존재한다면 이 부위를 통해 누수가 빈번히 발생한다. 유지관리시에는 균열, 누수, 백태, 시공불량, 단차, 압좌, 토사유입 등에 대해 면밀히 관찰, 조사해야 한다.

(아) 횡갱

장대형 병렬터널의 유지관리를 위해 시공된 연결터널을 가리킨다. 일반적으로 본선터널에 비해 규모가 작은 형태이나 본선터널과의 연결부가 구조적으로 취약한 부위이므로 균열, 누수, 박락 등에 대해 주의를 요한다.

(자) 대피소

철도터널의 유지관리시 작업인원이 열차통행에 지장을 주지 않기 위해 대피할 수 있는 측벽에 위치한 공간을 가리킨다. 대부분 20m 간격의 지그재그로 위치한다. 누수가 많은 지역에서는 많은 변상이 발생하게 되므로 주의를 요한다.

유지관리시에 균열, 누수, 백태, 박리·박락 파손, 토사유입 등에 대한 조사를 실시한다.

[해설 사진 2.2.18] 라이닝 콘크리트 시공이음부, 횡갱, 대피소의 사례

(5) 내부결함 탐사

내부결함 탐사에 대한 조사는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 터널 현장조사편 2-10page 라. 내부결함 탐사』를 참조하기 바람.

(6) 터널계측

단면측량은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 터널 현장조사편 2-9page 나. 터널단면 측량』를 참조하기 바람.

내공변위에 대한 조사는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 터널 현장조사편 2-10page 다. 내공변위 측정』를 참조하기 바람.

(7) 지반상태

시추조사의 목적은 지층의 판단과 실내실험을 위한 시료의 채취, 현장의 토질특성 파악에 있다. 시추위치의 선정은 물리탐사의 해석결과에 의하여 조사목적을 달성할 수 있는지점을 선정한다. 제체의 결함은 경미하나 토질조사 및 안정해석이 필요한 경우에는 시험굴조사(Test Pit)를 실시한다.

<참고> 과업지시서 예시
① 채취된 시료는 시료 병에 넣어 채취 순서대로 정리하여 코어상자에 보관하고 심도를 기록하여야 한다. ② 코어상자의 규격은 약 가로 1m, 세로 0.4m, 높이 0.06m, 내부에 5~6칸의 목제품(판재 및 합판두께 3.6㎜)으로 하며 상자덮개 상부와 측면에 조사연도, 시설명, 공번, 심도, 시추회사 등을 명기한다. ③ 성토 층 시추 시 공벽의 보호를 위하여 필히 케이싱을 설치하여야 한다. ④ 현장투수시험 (가) 본 시험은 전문기술자의 책임하에 시행하되, 시험구간은 최대 5.0m 이하로 한다. (나) 변수위법의 경우 최대 1분 이하의 간격으로, 정수위법의 경우 최소 2.0ℓ이상의 주입량으로 최소 10단계 이상 수위를 측정하여야 하며, 변수위법을 우선적으로 적용한다. ⑤ 표준관입시험 (가) 시험은 KSF 2307 규정에 따라 시행하여야 하며 시험심도는 최대 3.0m 이하로 하되, 지층의 변화 등 확인이 필요한 경우에는 전문기술자의 지시에 의한다. (나) 시험으로 얻어지는 교란시료는 시료 병에 넣어 위치, 공번, 심도 및 N값을 기록하고 보관해야 한다. ⑥ 불교란 시료 채취 (가) 불교란 시료는 KSF 2317 규정에 따라 채취하며, 튜브(tube)는 전문기술자의 확인 후 사용하여야 한다. (나) 불교란 시료는 조사 내역서에 계상된 점수로 채취하는 것을 원칙으로 하고, 채취심도는 전문기술자의 지시에 의한다. (다) 채취된 불교란 시료는 공인된 시험기관에 의해 시험을 실시해야 하며, 시험 결과를 획득할 수 있어야 한다. ⑦ 조사가 완료된 공은 자연수위 측정 후 전문기술자의 지시에 따라 원상복구 조치하여야 하며, 원상복구 시 재료는 시멘트, 모래, 점토를 사용하여야 한다.

(8) 배수, 공동구 상태조사

『나. 터널의 상태변화 점검 항목-배수상태』를 참조하기 바람.

(9) 진동 및 소음 상태

진동 및 소음 측정은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 터널 현장조사편 2-11page 마. 진동 및 소음 측정』를 참조하기 바람.

(10) 기타조사(부속시설)

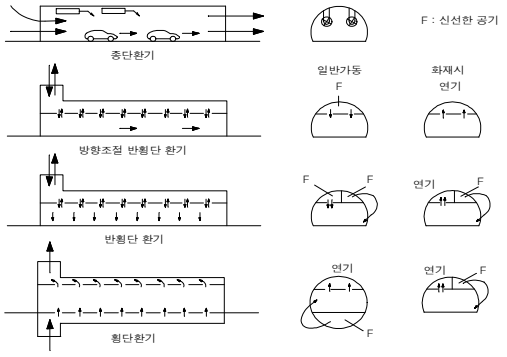
터널은 구조체의 구조적 안전성을 확보해야 하며 아울러 안전하고 원활한 교통을 확보하기 위하여 환기설비, 조명시설 및 비상용 시설의 설치가 필요하다.

일반적으로 각종 부속시설들은 본체의 내부에 설치되는데, 터널의 안전성과 기능성과 상호 관련되어 있으므로 유지관리의 항목에 포함하여 관리하여야 한다.

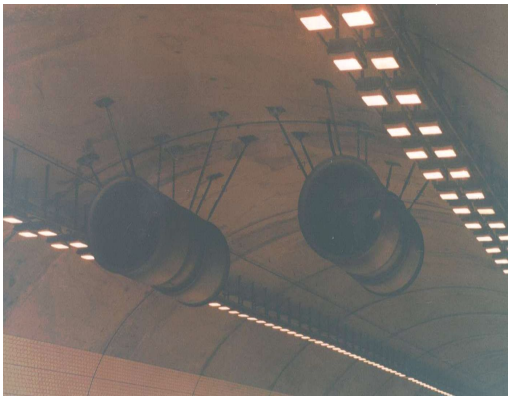
① 환기시설

일반적으로 터널에서의 환기는 터널을 주행하는 차량 운전자의 안전성, 쾌적성 및 시설물의 유지·보수관리를 위해 작업자의 작업환경을 확보하는 것을 그 목적으로 한다. 즉, 터널의 환기는 다양한 종류의 환기시스템에 의해서 신선한 공기를 터널내로 유입하여 유해물질을 희석하는 것을 의미하는 것으로 구조물의 열화나 표면오염 등에 대한 오염농도를 낮추는데도 기여하는 바가 크다고 할 수 있다.

본래 터널의 환기는 터널 내부환경을 허용농도 이하로 유지할 수 있으면 충분하지만, 도심의 터널에서는 외부환경에 대한 영향도 무시할 수 없으므로 갱구에서의 누출량이 제한되는 경우도 있다. 따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위한 환기방식의 검토나 터널의 연장, 교통량, 구배 및 환기량 등을 따져 적정 규모의 환기팬을 설치해야 하므로 유지관리시 적용된 환기팬의 적정성 여부를 조사해야 한다.



[해설 그림 2.2.26] 환기시스템의 개요도



[해설 사진 2.2.19] 고속도로 터널 환기팬

공용중인 터널에 설치된 환기팬에 대한 유지관리시에는 다음과 같은 항목을 점검한다.

(가) 교통량 대비 환기팬 용량의 적정성 점검

(나) 환기팬의 작동시간 점검

(다) 환기팬의 가동상태

(라) 환기설비의 장착상태

(마) 환기팬 정착볼트의 상태

(바) 환기팬의 장착상태, 팬의 날개 상태 및 청소상태, 윤활상태 등 설명서 항목별 점검

② 내장재

일반적으로 도로터널에서는 양호한 시거환경 확보와 주행조건 향상 등을 목적

으로 터널벽면에 내장을 설치한다. 특히 고속도로 터널에서는 주행차량의 속도가 빠르므로 운전자에게 양호한 시거환경을 갖도록 하는 것이 중요하다. 터널 내장의 목적은

(가) 터널내 조명을 균등이 반사시켜 조명효과를 향상시킨다.

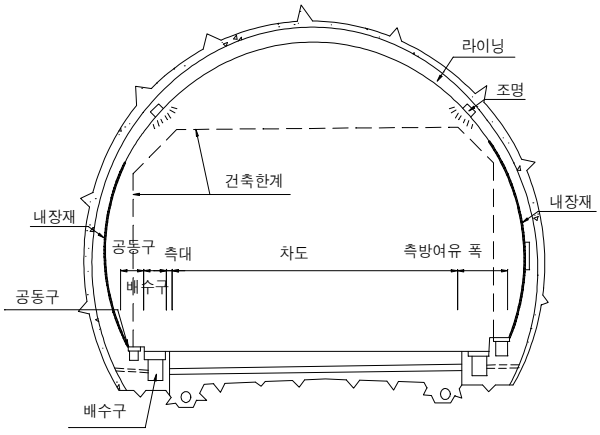
(나) 터널벽면의 위치를 운전자에게 쉽게 인식시켜 교통의 안전을 유도한다.

(다) 터널벽면의 요철을 균등화하고 운전자에게 중압감을 주지않도록 한다.

- ○ 배선, 배관등의 노출을 막고 미관을 살린다.
- ○ 불규칙한 복공면을 조정한다.
- ○ 벽면에 노출된 누수 등을 눈에 띄지 않게 한다.

일반적으로 내장판은 다음의 [해설 그림 2.2.27]과 같이 좌, 우측벽면측에 설치하는 것으로 하고 내장벽의 높이는 [해설 표 2.2.17]의 구분 I 을 채용하여 3m이상으로 하고 있다. 단, 건축한계(길어깨부 및 검사원 통로부)에는 영향을 주지 않는 높이로 계획하며, 검사원통로, 측벽면에는 내장판의 설치여유폭 30mm를 확보한다.

※ 보통 내장판이 건축한계에 영향을 미치면 단면형상이 크게되고 비경제적으로 되므로 일본의 경우 방재등급 “AA”에서도 건축한계에 영향을 주지 않는 높이로 하고 있다.



[해설 그림 2.2.27] 내장판 설치위치

[해설 사진 2.2.20] 터널내장재 전경

[해설 표 2.2.17] 터널구분과 내장높이

구 분	높 이	대 상 터 널	적 요
Ⅰ	3m이상	연장 약 5km 이상 터널 또는 공용초기부터 통행교통량이 예측되는 터널	방재등급이 "AA"급에 속하는 터널
Ⅱ	3m정도	연장 약 3km 이상 터널 또는 공용초기부터 통행교통량이 예측되는 터널로 대형차 혼입율이 높은 것	방재등급이 "A"급에 속하는 터널
Ⅲ	2m정도	연장 약 2km이상 터널 또는 공용기초부터 통행교통량이 예측되는 터널	방재등급이 "A"급에 속하는 터널
Ⅳ	2m이하	Ⅰ~Ⅲ의 구분에는 속하지 않으나 해당터널의 특성으로 시선유도에 대한 대응이 특히 요구되는 터널	방재등급이 "B~D"급에 속하는 터널

참조 : 터널내장설계요령(일본도로공단)

③ 조명시설

도로터널에서 운전자가 진·출입 또는 주행시 안전한 운행을 하도록 설치하는 시설로서, 설계속도, 교통량, 야외 휘도, 선형 등을 고려하여 설치한다.

터널내의 조명상태에 대해서는 다음과 같은 사항을 점검해야 한다.

(가) 조명등의 작동상태

(나) 조명등의 교체여부 상태

(다) 조명등의 조도상태(규정대비 70%이하면 교체)

(라) 조명등의 오염상태

[해설 사진 2.2.21] 도로터널의 조명등

[해설 사진 2.2.22] 터널조명과 개착구간 연결부

④ 소화전

터널 내에서의 차량사고나 누전 등으로 인한 화재시 이를 신속히 처리하여 터널의 안전성을 확보하기 위해 터널의 한쪽 측벽(주행방향의 우측벽)에 일정한 간격(대부분 50m)으로 소화기를 비치하는 시설로서, 매립형과 돌출형의 2종류가 일반적으로 사용되며, 비치되는 소화기는 터널의 규모에 따라 다소의 용량 차이는 있으나 일반적으로 수동식 분말형을 사용하고 있다. 간혹 소화전의 보

관함의 부식으로 시설의 개폐가 안되거나 소화기의 작동이 안되는 경우가 있으므로 만약의 사태에 대비한 유지관리가 필요하다. 최근 부식방지를 위한 알루미늄 소화기가 개발되기도 하였다.

유지관리시 점검해야 하는 항목에는 소화전 표시판의 오염과 파손, 소화전 시설의 개폐 여부 등이 있으며 비치된 소화기의 유지관리 및 점검은 제품 취급서에 준하여 실시한다.

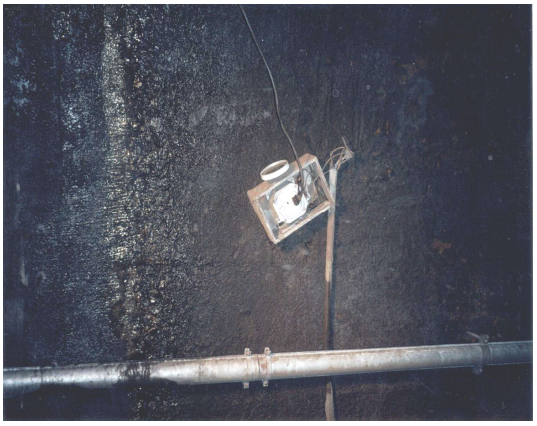
[해설 사진 2.2.23] 터널내부의 소화전

[해설 사진 2.2.24] 관리상태가 불량한 소화전

⑤ 전원설비

철도터널에서 유지관리(점검 및 보수공사 등)를 위해 측벽에 일정간격으로 설치되어 있는 전기설비(콘센트)를 가리킨다. 대부분 Box형태로 덮개가 있으나 누수, 매연 등에 의한 오염과 누전, 작동불량 등이 우려되므로 점검시 이에 대한 조사가 필요하다.

[해설 사진 2.2.25] 상태가 양호한 전원

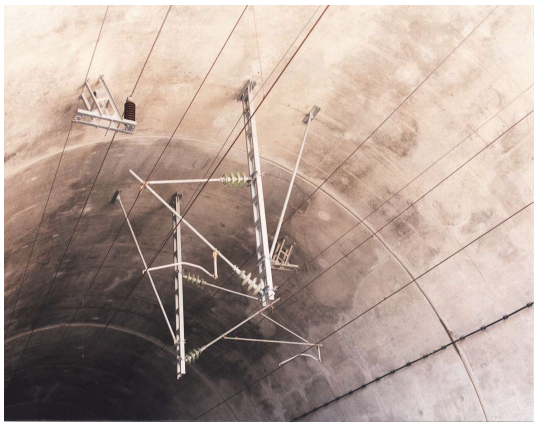


[해설 사진 2.2.26] 파손된 전원

⑥ 브라킷

전철화한 철도터널에서 전선의 거치를 위해 터널의 천장부 및 어깨부에 일정간격으로 설치하는 전선의 거치 시설물을 가리킨다. 평소 고압전류가 흐르는 전선을 거치하므로 전선하중에 대해 충분한 정착력을 발휘할 수 있도록 터널 주변지반에 고정되어야 한다. 따라서 점검시에는 전류를 단전시킨 후 접근하여

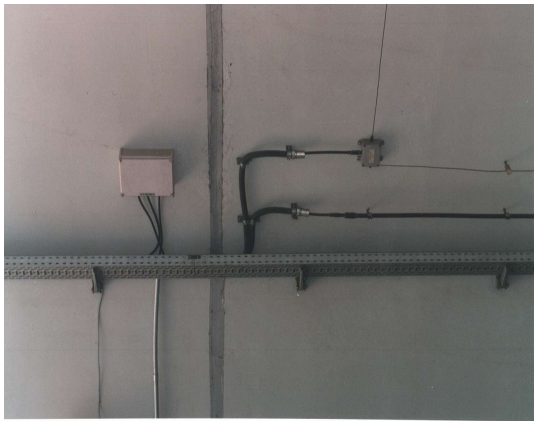
시설물 및 정착된 부위에 대한 외관상태의 점검을 실시한다.
브라킷에 대한 점검항목으로는 다음과 같은 사항을 들 수 있다.
(가) 브라킷 시설의 휨, 처짐, 부식 등 외관상태
(나) 브라킷의 고정상태(정착성)
(다) 브라킷 주변 라이닝의 균열, 누수, 박락, 파손 등



[해설 사진 2.2.27] 복선 철도터널의 브라킷

[해설 사진 2.2.28] 단선 철도터널의 브라킷

⑦ 각종 케이블
터널내부에서 볼 수 있는 각종 케이블들은 광통신 케이블 및 일반통신, 전원케이블 등으로서 도로터널의 경우에는 좌·우측 공동구나 하부공동구에 위치하는 것이 일반적이나 대부분의 철도터널 경우에는 터널의 한쪽 측벽에 노출되어 위치하고 있는 실정이다. 따라서 터널 라이닝의 균열을 통한 누수나 결빙 등에 의해서 손상, 처짐, 절선 및 누전이 발생할 수 있고 이를 통한 다른 변상으로의 전이가 우려되므로 점검시 이에 대한 면밀한 조사가 이루어져야 한다. 특히 철도터널 중 전철화 구간의 경우에는 고압전류가 흐르므로 누전 등에 유의해야 한다.



[해설 사진 2.2.29] 터널내부의 각종 케이블

[해설 사진 2.2.30] 터널내부의 각종 전선

2. 터널 외부

(1) 균열조사

『나. 터널의 상태변화 점검 항목-균열』를 참조하기 바람.

(2) 누수조사

『나. 터널의 상태변화 점검 항목-누수』를 참조하기 바람.

(3) 콘크리트 강도

『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(공통)』를 참조하기 바람.

(4) 터널 주변조사

① 사면조사 및 측정

(가) 성토사면

터널의 입·출구부의 원지반이 낮은 경우 차량의 원활한 통행과 터널시설물의 보호를 위해 인위적으로 형성한 사면을 가리킨다. 대부분 철도터널의 지상노출 구간에서 적용되나 터널이 시공되는 지형조건을 감안할 때 터널과 인접한 성토사면은 그리 흔하지 않은 경우에 해당한다.

(나) 절토사면

계획된 터널의 선형으로 인해 입·출구부와 접속도로 주변의 원지반을 절개하는 경우 발생하는 사면을 가리킨다. 일반적으로 터널 입·출구부 주변의 사면은 대부분이 절토사면으로서 토사층부터 암반층까지의 층상구조로 이루어지므로 절개로 인해 노출된 표층의 상태를 유지·관리하는 것이 중요하다. 따라서 강우나 폭설 등에 의한 토사층의 침식, 암반 절리면 및 경계면 주변의 탈락 등 절토사면의 표면에 대한 면밀한 관찰과 적절한 보호공의 적용이 필요하다.

현행 터널 인접사면 및 도로 사면 등의 점검주기는 해빙기 및 우기를 전후해서만 비정기적으로 실시하고 있는 실정이나 이를 교량·터널 등 구조물 관리에 준하는 점검주기로 현실화하고, 우기 전후 및 해빙기에는 수시·특별점검을 실시함이 바람직하다.

[해설 사진 2.2.31] 고속철도터널 갱문 성토사면

[해설 사진 2.2.32] 도로터널 인접한 대절토사면

(다) 사면보호공

터널 입·출구부 주변 사면의 형태는 지형상황에 따라 절토면 또는 성토면으로 나뉘어 형성되는데 터널 시공위치 및 구비조건으로 미루어 볼 때 발생한 대부분의 사면은 절토사면의 형태가 일반적이라 할 수 있다. 이와 같이 터널시공으로 인해 발생된 절·성토면에 대한 사면의 안정한 상태를 유지하기 위해 비탈면에 설치한 보호공법을 사면보호공이라 부른다.

일반적으로 사면보호공은 사면의 상태와 위치, 지층상태, 불연속면의 위치 등에 따라 적용하는 공법이 각기 다르며, 그 수 또한 상당히 많은 편이다. 통상적으로 사면보호를 위해 사용되는 많은 대책공법들을 방지 기능적인 측면에서 분류할 수 있는데 이를 간단히 소개하면 [해설 표 2.2.18] 과 같다.

[해설 표 2.2.18] 사면보호 대책공법

방 지 기 능		적 용 공 법
안전율 유지법	물리학적 방법	▸ 배 수 공 : 지표수 배제공, 지하수 배제공 ▸ 블 록 공 : 프리케스트 콘크리트 블록공, 블럭석(石)
	생물화학적 방법	▸ 피 복 공 : seed spray, TEXSOL, 숏크리트공법 ▸ 표층안정공 : 시멘트 그라우팅, 약액그라우팅
안전율 증가법	활동력 감소법	▸ 절 토 공 : 활동하중 경감 ▸ 압성토공 : 활동저항력 증대
	저항력 감소법	▸ 말뚝공법 : 수동말뚝(억지말뚝) ▸ 앵커공법 : micropile, soilnailing공법 등 ▸ 옹 벽 공 : 콘크리트옹벽, 석축옹벽 ▸ 고압분사주입공

[해설 사진 2.2.33] 갱문상부 보호공 (석축+옹벽공)

[해설 사진 2.2.34] 갱문상부 보호공 (블록공)

[해설 사진 2.2.35] 갱문측면 보호공 (석축)

[해설 사진 2.2.36] 갱문상부 보호공 (피복공-철망)

(라) 사면점검로

터널의 입·출구부와 접속되어 있는 사면의 안전성 여부를 점검자가 수시로 파악하기 위해 사면의 일정부위에 설치한 통행로 계단을 가리킨다. 보통 강재로 제작되므로 외부 습기에 의한 부식과 사면에의 정착성에 대해 조사해야 한다. 또한 계단형식이므로 강우나 융설에 의한 결로, 결빙 등으로부터 점검자의 안전을 지키기 위해 바닥 착지면에 요철이나 미끄럼 방지처리 요철 및 손잡이 등을 갖추고 있어야 한다.

사면점검로에 대한 유지관리는 시설물의 상태 및 안전성, 부식, 안전장치의 구비, 사면에의 정착성 등을 점검해야 한다.

(마) 펜스

터널을 시공하면서 발생한 인접한 지형의 절개로 인해 사면이 발생하는 경우 대부분 대형사면의 형태를 갖게 되는데, 이 경우 원지반의 환경변화로 인해 절개면의 이완영역이나 불연속면 등에서 발생한 낙석으로 인한 차량 통행의 지장과 사고를 방지함으로서 안전을 확보하기 위해 토류벽 상단에 설치하는 시설물을 말한다. 대부분 피복된 강재기둥과 철망을 주재료로 사용하므로 유지관리시에는 토류벽 상단에의 고정과 연결부 파손, 강재 부식 및 철망의 찢긴 부위 등에 대한 점검을 실시한다. 또한 설계시 고려된 낙석의 경로와 충격에너지에 대한 펜스의 높이와 사면과의 여유공간에 대한 적정성 여부에 대해서도 충분히 검토해야 한다.

[해설 사진 2.2.37] 절토사면 점검로

[해설 사진 2.2.38] 낙석방지를 위한 펜스

(5) 기타조사

① 터널 외부배수로

옹벽상단이나 사면주위에 시공된 배수 시설물로 강우나 강설 등에 의한 지표수의 구조물 내 유입을 막고 옹벽 및 사면의 안전성을 확보할 목적으로 시공된다. 대부분 터널주변 식생의 영향으로 낙엽 및 오물 등이 퇴적되어 배수로의 기능을 저하시키거나 통수를 위한 구배가 부적절하여 일부구간의 침수를 유발, 파손으로 전이되는 경우가 있는데 이러한 경우에는 터널내부로의 침출수를 발생시켜 터널의 안전성 및 내구성에 미치는 영향이 크므로 이에 대한 관리가 필요하며, 점검시 이러한 관점에서의 유지관리가 필요하다.

② 유지관리용 사다리

상하수도용으로 설치된 도수터널의 경우와 같이 지하에 위치한 구조물의 안전성 점검을 위해서는 본 터널에 연결된 수직통로(Shaft)을 통해 점검자가 출입해야 하는데 이때 본 터널까지 점검자의 이동을 위해 설치된 통로사다리 시설물을 가리킨다. 대부분 강재로 이루어져 있으므로 수로터널과 같이 다습한 경우에는 점검자의 출입에 의한 물기로 사다리의 부식이나 수직통로에의 정착불량 여부 등에 유의하여 관리해야 한다.

[해설 사진 2.2.39] 옹벽 배면의 배수로

[해설 사진 2.2.40] 배수로 바닥 파손

[해설 사진 2.2.41] 도수터널 진입용 사다리

[해설 사진 2.2.42] 수직통로의 정착불량 사다리

③ 지형

터널의 주된 지지 구조체는 원지반이므로 터널의 안전성 또한 터널 주변지반 지형조건 등에 많은 영향을 받는다. 특히 터널의 주변지형이 라이닝에 영향을 줄 수 있는 경우로는 사면지형, 지반활동지역, 구조선지역, 하천공격사면, 애추 등의 지형에 시공된 터널의 경우를 들 수 있다. 이 밖에도 터널 상부사면의 붕괴이력, 터널 상부 횡단 하천이나 지표수(연못, 습지, 표류수)의 유무도 영향을 주며 터널의 토피고와도 관련이 있다.

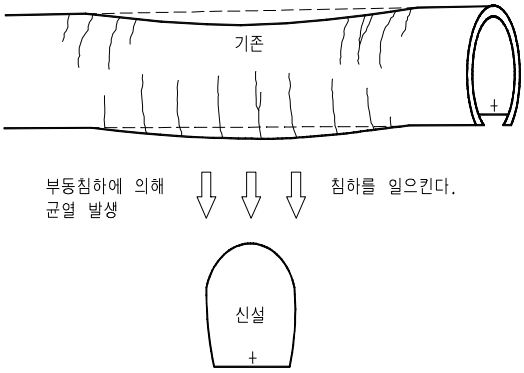
④ 지질

지층을 구성하는 지반의 성분에 따라 터널의 안전성에 영향을 받는데, 여러 지질의 종류 중에서 외력 발생과 관련된 지질로는 사질토, 점성토, 사암, 이암, 셰일, 편암 균열이 발달한 암석층, 풍화대가 있으며 때에 따라 경암에서도 외력이 발생할 수 있다. 그리고 터널 주위가 단층 파쇄대이거나 편리, 층리, 변상절리 등이 존재하는지도 중요한 요소이다. 팽창성 지반 여부 판정을 위해서는 지반강도비를 구할 필요가 있으며 이를 위해서는 토피고, 지반의 밀도, 지반강도를 알아야 한다. 터널의 측벽부 아래 지질이 좌우 비대칭을 때에는 편압이 발생할 수 있으므로 주의할 필요가 있다.

⑤ 근접공사

터널 주변에서 이루어지는 성토, 신설 구조물 설치와 같은 터널 상부하중 증가 유발공사, 측방 개착공사, 상부 절취공사, 근접 터널공사, 광상채굴, 저수지나 댐의 신설 등의 여부를 파악하여 공용중인 터널의 Safety Zone 확보와 아울러 터널 주변지반의 이완을 예방하여 터널의 안전성 및 기능저하 요인을 감소시켜야 한다.

유지관리시 근접공사에 대한 위험요소를 파악하기 위해 조사해야 하는 항목으로는 상부하중의 증감여부, 측방 개착공사 유무, 상부절취공사 유무, 근접한 시설물의 유무 등 기존 구조물에 영향을 미칠 수 있는 요인에 대해 조사한다.



[해설 사진 2.2.43] 근접시공 사례 (터널병설) **[해설 그림 2.2.28] 근접시공 사례 (터널교차)**

[해설 표 2.2.19] 근접시공에 의한 변상형태

근접시공의 종류	예상되는 변형
터 널 병 설	기존터널이 근접한 병설터널 쪽으로 인장되는 것 같이 변형한다. 병설터널의 시공에 의해 기존터널의 주변지반이 이완, 그 결과 라이닝에 작용하는 하중이 증가한다.
터 널 교 차	신설터널이 기존터널 상부를 통과하는 경우는 그 영향이 작지만 거리가 가까우면 아칭작용이 깨져 라이닝에 작용하는 하중이 증가하는 경우도 있다. 신설터널이 기존터널의 하부를 통과하는 경우는, 기존터널을 침하시키므로 신중한 검토가 필요하다.
터널 상부의 개착	터널의 상부개착에 의해 상부하중이 제거되고 연직토압에 대한 측압비가 커지면 천단에 부상이 생긴다. 또한 토피가 작으면 지반의 아칭작용이 깨져 라이닝에 작용하는 연직하중이 증대한다.
터널 상부의 성토	터널상부의 성토로 인해 라이닝에 작용되는 연직하중이 증대되나, 토피가 큰 경우는 증가하중의 분산 영향이 적다. 성토가 균등하지 않은 경우는 라이닝에 편압이 작용하기도 한다.
터널상부의 구조물 기초	기초의 굴착시는 상부의 개착과 같지만, 그 정도는 작다. 상부구조물 시공시는 상부성토의 경우와 같지만, 상재하중이 증가한다.
터널 측부의 굴착	굴착되는 방향으로 길게 되는 것 같이 터널이 변형한다.
지 반 진 동	근접하여 대량화약을 사용하는 공사가 진행되면 동적 하중이 터널에 작용해 라이닝의 균열을 수반하거나 이 균열과 함께 박리가 있는 경우 등은 라이닝면이 떨어지기도 한다.

⑥ 기후·기상

외력에 의해 발생한 변상을 판정하기 위해서는 터널이 건설된 지역의 기후 및 기상조건 등의 조사를 실시해야 하는데, 이는 기후 및 기상조건이 터널에서 발생하는 변상과 구조물의 열화에 밀접한 영향을 미치기 때문이다. 따라서 터널 주변지역의 기후·기상조건이 한랭지인지 건조·습윤이나 동결·융해가 반복되는지 등 기온·기상차이의 정도를 파악해야 하며, 한랭지에 해당된다면 시공할 때 단열공법이 적용되었는지 조사해야 한다. 또한 과거에 폭우, 홍수, 융설 등과 같이 지반함수비 증가의 가능성이 큰 사례가 있었는지 조사해야 한다.

3. 기타

(1) 표지판 여부

터널의 유지관리 및 차량의 통행을 원활히 하고 차량사고로 인한 구조물의 손상을 방지하기 위해 터널 내·외부에 부착된 표시판(안내판, 유도지시등, 현황판, 반사경 등) 일체를 가리킨다.

터널의 내·외부에 부착된 각종 표시판에 대한 유지관리는 운전자의 안전운행을 위해 운행 중 식별이 가능하도록 매연과 먼지 등으로 오염된 시설물에 대한 청소를 실시한다. 특히 입·출구부에 위치한 표시판일수록 오염된 정도가 심하므로 이에 대한 관심을 각별히 기울여야 한다.

철도터널의 경우에는 열차통행으로 인한 바람의 영향으로 유지관리용 표시판이 파손되거나 장착이 불량해져 탈락이 발생할 우려가 있으므로 각 시설물의 외관상태, 청소상태, 작동상태에 대한 점검을 실시한다.

[해설 사진 2.2.44] 교통유도 안내등

[해설 사진 2.2.45] 터널내부 전기상태 표시등

[해설 사진 2.2.46] 소화전 및 경보기 안내판

[해설 사진 2.2.47] 터널내부 위치표시등

(2) 안전 및 유지관리 계획여부, 청소상태

FMS상에 유지관리 계획이 입력되어 있는지 확인

(3) 시설물 이력카드 작성여부 및 보수 이력 확인

FMS 및 기존 자료를 이용하여 확인

2.2.2 시설물 현장조사 요령

가. 측점 분할

1) 일반사항

○ 측점 분할 작업은 현장조사에서 최초로 실시하는 작업으로서 터널의 진행 방향으로 위치를 표시하는 작업을 말한다.

○ 예비조사와 기타 사전조사 시에 입수한 자료를 검토하여 도면에서의 표기 방식을 참고로 현장에서 해당 위치를 표시하고, 위치 표시는 현장에서 쉽게 식별될 수 있도록 하여 추후 유지관리 시에도 활용할 수 있어야 한다.

2) 조사수량 및 측정방법

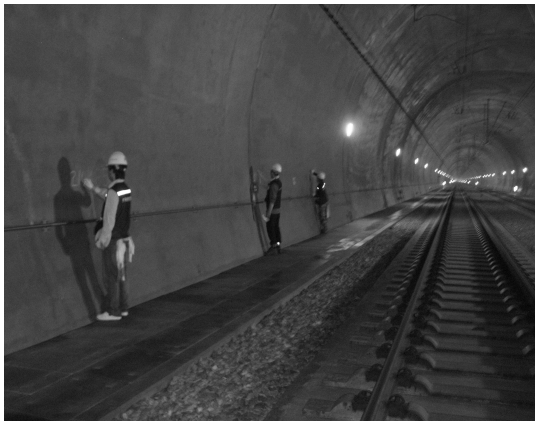
○ 정밀점검(필요시) 및 정밀안전진단 시 측점 분할 간격은 각종 현장 조사 시 좌우로 확인 가능한 거리인 5.0m 내외가 적당하며 면밀한 조사가 필요한 구간에 대하여는 별도로 세분해야 하고, 내업 정리 및 분석 작업은 필요에 따라 5~50m간격으로 조정 가능하다.

3) 결과분석

○ 국부적인 표면 오염이나 습기 등이 있는 경우 이를 제거하고 스프레이, 매직, 유성 펜 등으로 표시 하며 석필, 분필 등으로 표시할 수도 있다. 철도 터널, 도로터널과 같이 현장에서 기 표시된 측점은 반드시 확인하여야 한다.

○ 측점분할은 통상 터널 입구부터 시작하여 출구에서 끝나며 분할에 따른 오차를 최소화하고, 단면 변화 구간, 횡갱구간, 소화전, 응급 대피소 등 현장에서 직접 확인 가능한 위치는 현장조사 전에 위치를 파악하여, 측점 분할함으로써 오차를 줄인다.

【해설】



[해설 사진 2.2.48] 측점분할 모습

나. 터널단면 측량

1) 일반사항

○ 외관조사 결과 터널 내공단면이 불규칙한 곳에 대하여는 정확한 단면상태 및 시공상태의 파악을 위하여 터널의 종·횡단 측량 또는 선형 측량을 실시한다.

○ 준공도상의 단면과 현 상태의 차이를 검토하고 건축한계선과 비교하여 보수·보강대책 수립 시와 유지·관리업무 수행 시에도 활용할 수 있도록 한다.

2) 조사수량 및 측량 방법

○ 터널 정밀안전진단 시 터널단면 측량은 최소 200m마다 1개소씩 측량하며, 특히 단면변화구간 및 육안조사 단면의 이상부위는 보다 정확한 측량이 필요하다.

○ 추가적인 조사가 필요한 경우에는 종단측량 및 선형측량의 경우 설계 시점부터 종점까지(통상 터널 입구부터 출구) 측량한다.

○ 사용하는 장비는 일반적으로 일체형 광파거리계에 의한 측량기를 사용하며, 측정간격은 100～200m 범위에서 변상정도에 따라 위치를 선정하여 측량한다.

3) 결과 분석

○ 횡단측량 시 측정된 결과와 설계도면 및 건축 한계선과 비교하여, 도면과 일치하는지 여부를 확인한다. 이때 건축 한계선을 초과하는 경우는 매우 심각한 단면 변화 구간으로서 이에 대한 적절한 조치가 필요하다.

【해설】

1. 측량 방법

(1) 사용하는 장비는 일반적으로 일체형 광파거리계에 의한 측량기를 사용하며, 측정 간격은 20~100m 범위에서 변상정도에 따라 위치를 선정하여 측량하며, 사용 장비의 특징은 다음과 같다.

① 반사경 없이도 측량할 수 있어야 접근이 어려운 철도터널, 수로터널 등에서 용이하다.

② 종단 측량을 할 경우 설정되는 x, y, z축에 대한 선형측량도 동시에 조사한다.

③ 레이저 포인트를 활용하여 정확한 위치를 확인한다.

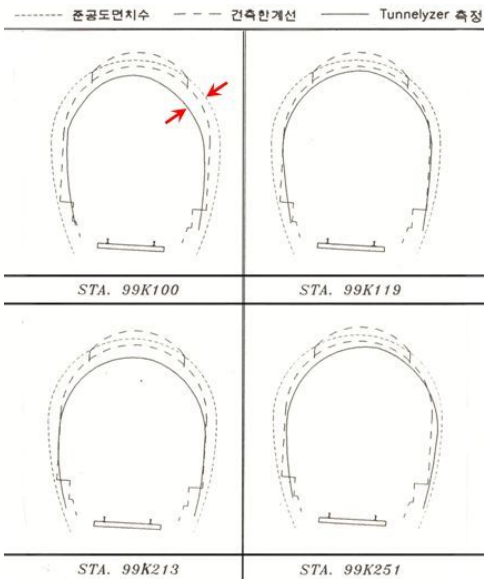
④ 현장에서 측량한 결과를 확인하여 오차를 최소화한다.

(2) 측점별 횡단측량의 경우 보통 40m마다 1개소씩 측량하며, 특히 단면변화구간 및 육안조사 단면의 이상 부위는 보다 정확한 측량이 필요하다.

(3) 종단측량 및 선형측량의 경우 터널의 시점부터 종점까지(통상 터널의 입구부터 출구) 측량한다.

2. 결과 분석

횡단 측량된 결과를 준공도면 및 건축한계선과 비교하여, 도면과 일치하는지 여부를 확인한다. 이때 건축한계선을 초과하는 경우에는 매우 심각한 단면변화 구간으로 판단되므로 이에 대한 적절한 조치가 필요하다.



[해설 사진 2.2.49] 터널측량 전경 및 결과정리 예

다. 내공변위 측정

1) 일반 사항

○ 측정 목적은 터널 라이닝의 상대변위 및 집중현상을 측정하여 터널내부의 붕괴예측과 굴착지반이나 구조물의 변위예측을 위하여 실시한다.

○ 내공변위계는 앵커(Anchor)와 자(Tape)로 구성된다. 장점은 간편한 작동, 경량이므로 취급이 용이하다는 점이다

2) 조사수량 및 측정 방법

○ 터널 정밀안전진단 시 내공변위 측정은 변위가 예상되거나 발생된 지점에 최소 1개소를 측정한다. 이때의 다이얼게이지의 눈금을 읽어 측정치로 하고 3회 반복 측정치의 산술 평균치를 계측치로 한다.

○ 측정하고자 하는 지점에 앵커를 삽입시킬 수 있도록 천공한 다음 앵커를 삽입한 후 그라우팅이나 레진(Resin) 또는 시멘트 모르터로 고정시키고, 고정된 양단의 앵커에 내공변위계의 후크를 걸고 일정한 장력이 되도록 조작한다.

3) 결과 분석

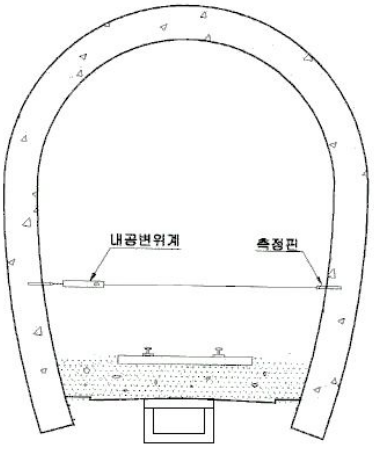
○ 정밀안전진단 시의 내공 변위의 측정은 시공 현장이나, 유지관리 과정에서처럼 정기적으로 조사할 수는 없으므로, 통상 1차 조사 후 15일 또는 30일 단위로 실시하여 내공 변위의 진행성 여부 및 응력 집중 정도를 파악한다.

【해설】

1. 일반 사항
   (1) 측정목적
      ① 터널라이닝의 상대변위 및 변위속도를 측정
      ② 터널내부의 붕괴예측
      ③ 터널주변의 굴착지반이나 구조물 설치로 인한 변위 예측
   (2) 내공변위계
      ① 본 내공변위계는 앵커(Anchor)와 자(Tape)로 구성된다.
      ② 장점은 간편한 작동, 경량이므로 취급이 용이하다는 점이다.

2. 측정 방법
   (1) 측정하고자 하는 지점에 앵커를 삽입시킬 수 있도록 천공한 다음 앵커를 삽입한 후 그라우팅이나 레진(Resin) 또는 시멘트 모르터로 고정시킨다.
   (2) 고정된 양단의 앵커에 내공변위계의 후크를 걸고 일정한 장력이 되도록 내공변위계를 조작한다.
   (3) 이때 다이얼 게이지의 눈금을 읽어 측정치로 하고 3회 반복 측정치의 산술 평균치를 계측치로 한다.

3. 결과 분석
   진단시 실시하는 내공변위 측정은 시공현장이나 유지관리 과정에서처럼 정기적으로 조사할 수는 없으므로, 통상 1차 조사 후 15일 또는 30일 단위로 실시하여 내공변위의 진행성 여부 및 응력집중에 따른 변형을 파악한다.



[해설 사진 2.2.50] 내공변위계 설치 전경 및 측정

라. 내부결함 탐사

1) 일반사항

라이닝의 내부결함(라이닝 두께. 배면공동의 규모 등)과 라이닝 내부의 강지보 설치 및 철근의 배근 상태를 파악하기 위하여 비파괴검사 방법과 보링(Boring)등을 실시하여 조사한다.

2) 조사방법

① 타음검사

해머(Hammer)로 라이닝 표면을 타격하여 해머의 반발방향과 타격음에 의해 이상 유무를 조사하는 수단으로 정성적인 방법이지만 적정한 라이닝두께의 유무, 배면공동의 유무, 박리부분의 검사, 압축파괴의 유무, 라이닝표면의 열화상황을 조사하는 방법이다.

건전한 콘크리트라이닝은 타격음이 청음을 내고, 열화된 라이닝은 둔한 소리를 낸다. 또 라이닝배면에 공동이 있는 경우와 압축파괴된 부위도 역시 둔한 음을 낸다. 특히 벽돌·석적으로 시공된 경우의 건전한 라이닝은 금속성의 음을 낸다.

② 전자파법(레이다 탐사법)

100MHz~1GHz정도의 높은 주파수의 전자파를 콘크리트중에 방사하여 라이닝 배면에서의 반사파를 잡아 그 파형을 해석하는 것으로 라이닝 콘크리트의 두께, 공동의 유무를 판정하는 방법이다.

③ 라이닝 보링(Boring)조사

라이닝 두께와 배면의 공동, 지질상황 등을 직접 보링(Boring)에 의해 조사하는 방법으로 사전에 위치, 깊이등에 대해 충분히 검토하여 실시할 필요가 있다.

④ 내시경조사

보링(Boring)또는 드릴링에 의해 천공 후 공내에 내시경 조사장비를 삽입하여 라이닝 배면의 상황을 육안 관찰하는 방법이다.

【해설】

1. 공동 및 공극조사

(1) 라이닝 배면공동

라이닝 배면과 지반 사이에 공동이 있으면 지반이완과 토압증가의 원인이 될 뿐만 아니라 수동토압의 발생을 막아 라이닝의 구조적 강도저하를 일으킨다. 또 토피고가 작을 때에도 라이닝 배면공동은 지반이완과 지표침하 등 지표에 악영향을 미치게

된다. 이와 같이 토압이 증가한 경우의 배면공동은 이차적 변상원인이 되는 것이다.

(2) 라이닝의 두께 부족

라이닝 콘크리트를 타설할 때 형틀 내에 충분히 콘크리트가 충진되지 않게 되면 라이닝 두께가 설계치 보다 작아지고 라이닝 배면에 공동이 남을 수 있다. 이런 경우 설계 상에서 고려된 토압이 작용하더라도 쉽게 변상이 발생할 수 있으므로 라이닝 두께에 대해 주의 깊게 조사해야 한다.

(3) 인버트 라이닝 미설치

시공할 때는 큰 토압이 작용하지 않고 지반이 안정된 터널이라도 시공 후 어떤 요인에 의해 토압이 증가하거나 측압, 지반을 부풀어오르게 하는 압력이 생겨나 변상이 일어나는 경우가 있다. 이 경우에는 토압이 일차적 변상원인이며 인버트 라이닝의 미설치가 이차적인 원인이 된다. 또한 인버트 라이닝이 설치되어 있더라도 인버트 라이닝의 두께 및 곡률이 부적절한 경우에 역시 변상이 일어날 수 있다.

2. 타음검사

점검망치를 이용한 점검은 일반적으로 망치로 시설물에 타격을 가했을 때의 반발 정도나 소리, 반응형태 등으로 시설물의 안전상태를 평가하는 것으로서 그 유의점은 다음과 같다.

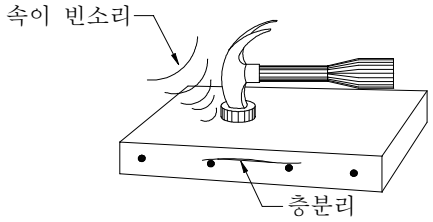
(1) 점검망치에 의한 타격시 청음을 내면 라이닝 재료는 건전하다고 판단할 수 있고, 둔탁한 음이나 공명이 나타나는 경우는 라이닝이 열화하고 있거나 배면에 공극이 있을 가능성이 높다.

(2) 점검망치타격에 의한 반발이 좋을 경우 라이닝 재료는 건전하다 판단할 수 있다.

(3) 점검망치 타격시 망치가가 라이닝 표면에 박히거나 표면에 균열이 발생하거나 벽돌이 흔들거리는 경우는 라이닝이나 줄눈재가 열화되었다고 판단할 수 있다.

(4) 라이닝 재료의 박락 등 낙하 가능성이 있는 곳은 두드려 떨어뜨릴 것(사고예방).

► **점검망치를 이용한 조사** : 내부의 공동이나 층분리 여부를 소리로 판단. 즉 건전한 부분을 두들기면 “핑”하는 소리가 나지만 내부결함이 있는 부분은 “퍽”하는 소리가 난다.



※ **펀칭전단파괴(Punching Shear Failure)** : 국부적으로 상판에 구멍이 뚫리는 현상

3. 전자파법(레이다 탐사법)

(1) 장비(GPR)

탐사장비는 여러 종류가 있으나, 조작이 비교적 간단하고 안테나가 소형, 경량이어서 현장에서의 탐사효율성이 높은 장비를 선택하여 조사한다.

(2) 탐사 측선 설정 및 탐사연장

탐사는 일반적으로 터널의 좌·우측 벽체, 좌·우측 아치부 및 천장부에서 실시한다.

(3) 탐사 결과 분석

① 라이닝의 전체두께 즉, 1차 라이닝과 암반면의 경계조사는 탐사가 어렵다. 이는 이론적으로 라이닝 콘크리트와 기반암과의 상대유전율이 차이가 크지 않아 반사신호의 에너지 분석에 어려움이 있으므로 경험이 많은 전문가에 의해 경계면 분석이 이루어져야 한다.

② 실제로 탐지가 불가능한 것은 방수포 배면이 물로 포화되어 있는 경우로서, 1차 라이닝 콘크리트와 기반암의 함수비가 비슷하여 전자파의 반사가 발생하지 않을 수 있기 때문이다.

③ 공동이 라이닝 배면에 존재하면 공동으로부터의 반사신호는 빠른 다중반사신호와 공동의 양끝에서 회절신호를 보여주게 된다. 공동의 측선상 길이는 탐사자료상에서 추정이 가능하나 공동의 깊이나 폭은 현재로서는 추정이 매우 곤란하다.

④ 공동의 깊이를 계산해내기 위해서는 공동의 상부에서 반사되는 신호와 공동의 하부에서 반사되는 신호가 분리되어 기록되어야 하는데 이러한 조건을 만족하기 위해서는 공동의 깊이가 대규모이어야 하는데 일반적으로 라이닝 배면에 존재하는 공동은 대부분 소규모이므로 그 깊이를 판단해낼 수가 없다.

⑤ 설령, 공동의 깊이가 깊은 경우라도 공동 내에서 많은 회절신호와 산란신호를 가지기 때문에 깊이를 계산해내기란 쉬운 일이 아니다.

⑥ 2차 라이닝과 1차 라이닝 사이에 시공되어 있는 방수포 배면이 물로 포화되어 있을 때 이 경계면은 강한 반사신호를 일으킨다.

⑦ 이 경계면은 연속적인 반사면으로 작용하기 때문에 탐사획득자료에서 탐사측선에 수평한 연속적인 반사신호를 나타내므로 이러한 연속적인 반사면의 심도를 2차 라이닝의 두께로 추정할 수 있다.

[해설 사진 2.2.51] 터널 내부와 외부에서의 탐사 전경

마. 진동 및 소음 측정

1) 일반 사항

○ 터널 구조물을 통과하는 각종 차량 및 철도 객차 등에서 발생하는 진동과 주변 공사장 및 중장비 주행 등에 따른 터널 라이닝에 미치는 진동의 영향을 파악하고자 진동측정을 실시할 수 있다.

○ 일반적으로 큰 소리 또는 음(Noise)에 의한 일상생활에 방해가 되는 소리, 감정적 혐오감을 주는 소리를 소음이라 하며, 터널의 사용성을 고려하여 진동측정과 동시에 소음측정도 실시할 수 있다.

2) 조사수량 및 측정방법

○ 터널 정밀안전진단 시 진동 및 소음측정은 주변건물 신축 및 열차, 차량 통과 등의 피해가 예상되는 경우 책임기술자 판단에 따라 실시 할 수 있다.

○ 진동측정기는 물리적인 운동이나 압력을 전류로 바꾸어 주는 변환기 또는 센서, 전류를 전달하는 케이블, 증폭장치 및 최초 신호의 상대 시간변화를 보존하는 저장장치 및 이로부터 재생된 신호를 최후의 영구적인 기록으로 보존하는 출력기록장치로 구분된다.

○ 시간적인 변동이 거의 없는 소음에서는 그 읽는 값을 그대로 소음의 크기로 평가하지만 도로터널, 철도터널과 같이 시간별로 소음이 변하거나, 인접의 공사장이 있는 경우 등은 그 소음치가 시간에 따라 변하므로 최고치 및 최저치 등을 조사하여 산출한다.

3) 결과 분석

○ 일반적으로 진동규제기준치는 최대입자속도(Peak Particle Velocity)에 따라 결정하여 사용되고 있다. 전반적으로 최대입자속도 5cm/sec보다 작은 발파나 진동의 경우 인접구조물에 손상이 생기지 않는 것으로 되어 있다. 그러나 이 기준치는 튼튼한 상가구조물에 대하여는 안전측이 되고 벽돌구조물과 같이 약한 구조물에 대하여는 위험측의 기준이 된다.

○ 소음측정 시 유의할 점은 어떤 점의 소음레벨은 주위의 반사음이나, 타 소음원 등의 영향을 받아 나타나는 결과이다. 따라서 주위의 영향을 배제하고 음원의 음 자체를 측정하기 위해서는 가급적 주위에 반사물 등이 없는 곳에서 또한 음원에 접근하여 소음을 측정하는 것이 타당하다.

【해설】

1. 일반 사항

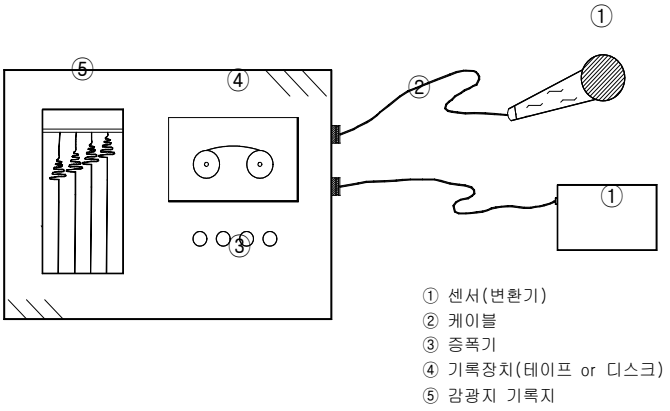
(1) 터널 구조물을 통과하는 각종 차량 및 철도 객차 등에서 발생하는 진동과 주변 공사장 및 중장비의 주행 등에 따른 터널 라이닝에 미치는 진동의 영향을 파악하고자 진동측정을 실시한다.

(2) 일반적으로 큰 소리 또는 음(Noise)에 의한 일상생활에 방해가 되는 소리, 감정적 혐오감을 주는 소리를 소음이라 하며, 터널의 사용성을 고려하여 진동측정과 동시에 소음측정도 실시한다.

2. 진동 측정

(1) 측정방법

① 진동 측정기는 물리적인 운동이나 압력을 전류로 바꾸어 주는 변환기 또는 센서, 전류를 전달하는 케이블, 증폭장치 및 최초 신호의 상대 시간변화를 보존하는 테이프, 계수형 종이 기록계, 이로부터 재생된 신호를 최후의 영구적인 기록으로 보존하는 감광지 기록계로 구분된다.



[해설 그림 2.2.29] 진동 측정기 모식도

② 측정기에 부착된 센서는 센서 1개당 한 방향으로만 감응하기 때문에 진동원에 대하여 진행, 접선, 수직의 3방향 진동을 각각 측정할 수 있도록 센서가 3개인 측정기의 사용을 권장한다.

③ 이러한 센서에는 지오폰(Geophone)형, 피조메타(Piezometer)형이 있으며, 각각의 센서 설치방법은 유사하나 센서 설치가 적정해야 정확한 조사를 할 수 있다.

④ 측정장치는 지질 상태가 일정한 선에 배열해야 하며, 센서를 설치할 때는 진동의 가속도를 고려하여 흔들리지 않게 잘 고정시켜야 한다. 즉, 최대 속도가 너무 커서 센서가 움직일 소지가 있을 경우에는 측정면이 흙이면 완전히 묻거나 최소한 가벼운 모래주머니를 활용하여야 하며, 측정면이 도로터널처럼 콘크리트, 아스팔트로 되어 있는 경우에는 양면 테이프, 에폭시 또는 급결시멘트 등으로 측정면을 고정하여야 한다.

(2) 결과 분석

① 사람이 진동에 감응하는 정도는 진동 가속도치에 따라 변하고 건물이 받는 피해의 정도는 진동속도 성분과 직접 관련이 있는 것으로 밝혀졌다. 이러한 진동에 의한 피해는 주로 발파진동에 대하여 연구되고 있다. 발파진동에 의하여 구조물이 받는 피해 규정을 주파수와는 무관하게 속도치에 의해서만 결정하는 경우가 많으나, 진동의 변위를 고려할 경우는 주파수가 동시에 고려되어야 한다.

② 일반적으로 진동규제기준치는 최대입자속도(Peak Particle Velocity)에 따라 결정하여 사용되고 있다. 전반적으로 최대입자속도 5cm/sec 보다 작은 발파나 진동의 경우 인접구조물에 손상이 생기지 않는 것으로 되어 있다. 그러나 이 기준치는 튼튼한 상가구조물에 대하여는 안전측이 되고 벽돌구조물과 같이 약한 구조물에 대하여는 위험측의 기준이 된다.

③ 현재 진동규제기준치는 각 국가, 대상구조물 등에 따라 많은 차이가 있다. 그러나 발파진동의 피해여부를 가리는 대상이 건물 등의 시설물인 경우 국내외의 여러 연구결과 및 측정결과를 종합하여 볼 때 1.0cm/sec의 진동 수준이면 충분한 안전발파가 이루어질 수 있다고 하였다.

④ 참고로 우리나라 지하철공사 등에서 적용하고 있는 진동의 규제범위는 다음과 같다.

[해설 표 2.2.20] 구조물 손상기준 진동허용치

구 분	진동예민 구조물	조적식 벽체와 목재로 된 천장을 가진구조물	지하기초와 콘크리트 슬래브를 갖는 조적식 건물	철근콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 중소형 건축물	철근콘크리트 또는 철골골조 및 슬래브를 갖는 대형건축물
	문화재 등	재래가옥, 저층 일반가옥 등	저층 양옥, 연립주택 등	중저층 아파트, 중소상가 및 공장	내진구조물 (고층아파트, 대형건물 등)
허용입자속도 (cm/sec)	0.3	0.5	1.0	1.0	0.2

3. 소음 측정

(1) 측정방법

① 모든 소음의 측정값은 소음 레벨의 측정이다.

② 시간적인 변동이 거의 없는 소음에서는 그 읽는 값을 그대로 소음의 크기로 평가하지만 도로터널, 철도터널과 같이 시간별로 소음이 변하거나, 인접의 공사장이 있는 경우 등은 그 소음치가 시간에 따라 변하므로, 평균치, 최고치 및 최저치 등을 조사하여 평가치를 산출한다.

③ 소음측정시 유의할 점은 어떤 점의 소음레벨은 주위의 반사음이나 타 소음원 등의 영향을 받아 나타나는 결과라는 것이다. 따라서 주위의 영향을 배제하고 음원의 음 자체만을 측정하기 위해서는 가급적 주위에 반사물 등이 없는 곳에서, 또한 음원에 접근하여 소음을 측정하는 것이 타당하다.

④ 지하굴착 작업 중에는 각종 건설장비를 사용하게 되는데 이들의 작동시 충격, 진동, 엔진가동 등에 의하여 소음이 발생하게 되어 진동과 더불어 큰 공해가 되고 있다. 이러한 진동 및 소음의 측정 결과는 시방서 및 관련 법규에 의한다.

바. 수질 조사 및 침전물 분석 시험

○ 수질분석 시험은 필요시 지하수 등의 침출수 및 유수가 콘크리트 구조물에 접하거나 침투하여 콘크리트와 화학반응을 일으켜 구조물을 노후화시킬 수 있는 성분을 함유하고 있는가를 판단하기 위한 시험이다.

○ 시료채취 과정에서 오염물질이 혼입되지 않도록 주의해야 하며, 일반적으로 지하수 등은 오염이 적어 전처리없이 시험을 해도 지장이 없는 때가 많다.

그러나 시료의 상태나 시험의 종류에 따라서는 공존 물질의 방해를 제거하기 위한 전처리를 필요로 하는 경우도 있다.

○ 시료 채취 후 시험 실시까지의 기간 동안 보관은 시료 특성에 따라 냉암소 보관, 보관 유효기간 등의 지배를 받으므로 주의하여야 한다.

사. 배수상태조사

배수상태조사는 터널과 같은 시설물의 운영 중 발생하는 용수, 강수가 터널 주변의 지표수 및 지하수에 영향을 미쳐 시설물의 안전상태를 미리 예측하고 대처하기 위해 실시하며, 주요 내용은 다음과 같다.

○ 시추자료, 지표의 용수지점, 우물의 수위 등으로 지하수위 등고선을 그리고 그 흐름방향이나 구배를 찾아서 터널용수의 유무나 갈수범위 등을 추정한다. 또한 지하수가 불투수층으로 막혀 낮은 지하수층과 지하수층으로 분리되는 경우 대수층으로 분류한다.

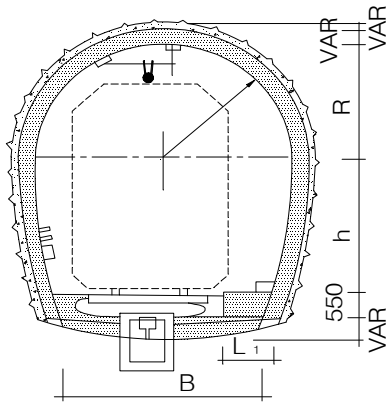
○ 위의 결과를 참조하여 터널 주변의 배수상태 즉, 내부와 외부상태를 검토한다.

【해설】

1. 배수구(맨홀)

강우, 강설 등에 의해 터널 내부로 유입되는 노면수, 지하수 및 터널내 청소 등으로 발생되는 표면수를 배수시키는 통로로서, 도로터널의 경우에는 주로 터널의 좌·우측바닥에 위치하여 점검자의 점검로로도 이용되며, 일반적인 단선 철도터널의 경우에는 대부분 중심하수방식을 채택하므로 도상의 중앙하부에 매설되어 있다. 따라서 배수상태가 불량한 경우에는 바닥면 체수로 인해 점검자의 통행에 지장을 주며, 구조물의 다른 결함을 유발하는 원인이 되기도 하므로 이에 대한 면밀한 관리가 필요하다.

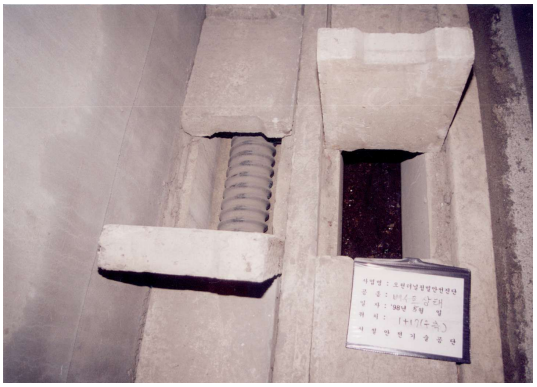
유지관리시에는 퇴적물, 통수량 및 흐름, 오염 등에 대한 조사를 실시하여 배수결함의 요인을 미리 방지해야 한다.



[해설 그림 2.2.30] 철도터널의 중심하수 모식도

[해설 사진 2.2.52] 철도터널에서의 배수불량

[해설 사진 2.2.53] 유지관리가 불량한 배수구



[해설 사진 2.2.54] 유지관리가 양호한 배수구

2. 배수구 덮개

터널의 바닥면으로부터 오물 및 이물질 등의 배수구 내 침투를 최소화하기 위해 설치한 프리캐스트 콘크리트 블록을 가리킨다. 간혹 관리소홀이나 과적차량의 통행으로 인해 파손되는 경우가 있으며, 아스팔트 덧씌우기 등 도로면 보수공사로 인해 밀폐되어 배수구의 개폐가 곤란하여 배수구의 상태를 점검하는데 어려움이 있는 경우가 있으므로 보수공사시 이 점에 유의해야 한다.

유지관리시 배수구 덮개에 대해서는 균열, 파손, 개폐성 등의 조사를 실시한다.

[해설 사진 2.2.55] 도로터널의 배수구

[해설 사진 2.2.56] 배수구 덮개 파손

아. 지반상태조사 (지형 및 지질조사 포함)

1) 현장시험

○ 현장시험은 지반정보를 구하는 중요한 방법으로서 특히 지층구성이나 거시적 지반정보를 얻는 것과 원지반 상태 그대로에서 각종 지반정보를 얻는 것이 특징이다.

○ 불교란 시료를 채취하기 어려워서 실내시험에서 공학적 특성을 측정할 수 없는 구간에서는 현장 원위치 시험을 실시하여 지반특성을 측정한다.

2) 현장시험의 종류와 적용

시추공을 이용한 시험법에는 시추공 저면을 이용하는 것이 있으며, 시험목적으로 분류하면 원위치 지반의 강도와 변형계수 등의 역학적 정보를 얻기 위한 것과 지하수 정보나 물리 정보를 얻기 위한 것이 있다.

3) 풍화변질 및 단층파쇄대

터널에 영향을 줄 수 있는 범위 등을 조사한다.

자. 갱문상태 조사

갱문은 터널 입・출부에 위치하여 터널의 안전성에 유해요소를 작용하므로 손상상태를 파악하여 시설물 유지관리에 활용한다.

차. 특수조건조사

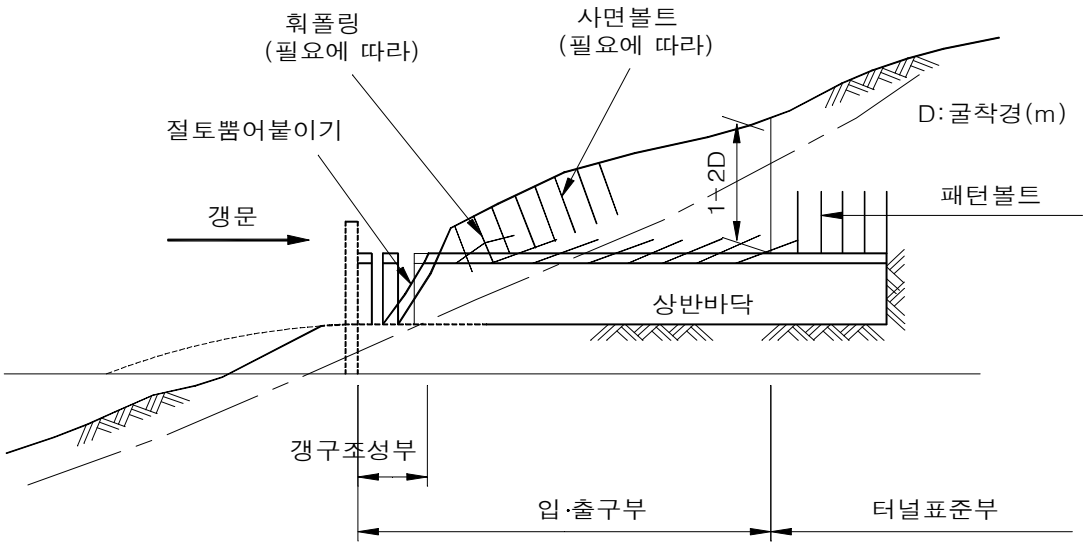
전력구 터널, 전차선을 설치한 터널 등에서 누수로 인한 낙수 및 동결위험도를 조사하여 시설물유지관리에 활용한다.

《참고사항》

1. 갱문상태 조사

터널의 입·출구부는 독립적인 요소가 내재된 갱문을 포함한 터널 본체와의 접속 구조물로서 연속적인 본체 구조물에 비해 일반적으로 토피가 낮으며 견고한 기초에 도달하지 않는 이유로 Ground Arch가 형성되기 어려워 구조적으로 취약하고 주변환경에 영향을 많이 받는 터널의 일부분이다. [해설 그림 2.2.31]에 표시한 바와 같이 토피 1D~2D(D는 터널의 직경)를 확보할 수 있는 범위를 표준으로 하는데, 한냉지에 건설된 터널의 경우는 흔히 동해를 받기 쉬운 부위이기도 하다. 또한 지형적으로 열악하여 공용중 낙석, 설붕, 토석류 등의 자연재해를 받기 쉽고, 상재하중이나 토압변화의 영향을

받는 경우도 있어 갱문의 전도, 활동, 터널 본체와의 불일치 등이 발생하기도 한다. 도로터널의 경우는 이와 같은 특수한 지형·지질조건을 고려하여 갱문의 형식을 결정하는 것이 일반적이나 국내의 공용중인 철도터널의 대부분은 면벽형 중력식 갱문으로 건설되어 있다.



[해설 그림 2.2.31] NATM터널의 표준적인 입·출구부의 범위

(1). 갱문의 형식 및 특징

터널의 갱문형식은 터널이 시공되는 주변지형을 고려하여 선정하는 것이 일반적이므로 형식별 특성을 이해하면 공용중인 터널의 주변지반에 대한 지층분포나 지형조건 등의 상황을 간접적으로 추정하는데 도움이 되므로 유지관리에 활용할 수 있으리라 생각한다. 터널의 갱문은 완성된 형상에 따라 크게 면벽형과 돌출형으로 분류할 수 있다.

① 면벽형

면벽형은 갱문 배면에 토압을 받는 구조이며, 구조상 중력식과 Wing식으로 나뉘어진다. 중력식은 비교적 경사가 급한 편토압을 받는 지형이나 토류구조물인 옹벽구조를 필요로 하는 지형, 낙석이 많다고 예상되는 지형에 주로 시공되는 형식이며, 구조상 터널 본체로부터 독립되어 외력에 저항할 수 있는 형식이다. 따라서 자중에 의해 주변지반의 편토압을 견뎌야 하는 철도터널에 주로 적용된 형식이다. Wing식은 상기의 경우를 제외하고 일반적으로 많이 사용하는 형식인데, 터널 본체의 라이닝 콘크리트와 강한 결속을 필요로 하며 필요에 따라 적설하중을 고려한다. 더불어 Wing식은 지진의 영향을 고려하지 않는 것이 일반적이다.

(가) 중력・반중력식

비교적 경사가 급한 지형이나 토류구조물인 옹벽구조를 필요로 하는 지형의 경우, 낙석이 많다고 예상되는 지형에 주로 시공되는 형식이며, 구조상 터널 본체로부터 독립되어 외력에 저항할 수 있는 형식이므로 자중에 의해 주변지반의 편토압을 견뎌야 하는 철도터널에 주로 적용된 형식

이며, 도로터널에는 반중력식이 주로 적용되는데, 운전자로 하여금 갱문의 중량감으로 인해 주행상의 압박감이 일부 느껴지기도 한다. 국내 고속도로터널, 철도터널(재래식 터널) 등 대다수의 터널에 적용하고 있다.

[해설 사진 2.2.57] 중력식 · 반중력식 갱문의 사례

(나) wing식

양측면을 절토한 경우나 배면 토압을 전면적으로 받는 경우에 주로 시공되는 형식으로서, 적설량이 많은 지역의 경우에는 방설공을 병용하여 시공되기도 한다. 자연 친화적인 구조물을 위해 정면부에 다양한 질감처리(미장)를 함으로서 경관미를 고려한다. 일본의 도로터널인 프나바 터널 등이 이에 해당한다.

(다) 아치 wing식

비교적 지형이 완만한 경우나 좌·우측면의 절토가 비교적 적은 경우에 시공하는 형식으로서, 면벽형의 단점인 운전자의 주행시 중압감을 감소시키기 위해 아치부에 곡선효과를 반영한 갱문이다. 일본의 도로터널인 나까미네 터널 등이 이에 해당한다.

[해설 사진 2.2.58] wing식과 아치 wing식 갱문의 사례

② 돌출형

돌출형은 갱문이 위치한 주변지반을 그다지 절토하지 않고 터널 본체와 동일한 내공단면이 터널 갱구부에 연속해서 원지반에 돌출한 형식이며, 그 형상에 따

라 파라페트식, 원통절개식, 벨마우스식 등이 있다. 이런 형식은 콘크리트 면벽이 작기 때문에 주변경관과 조화되기 쉬우며, 휘도상의 조화가 뛰어나기 때문에 입구부 조명의 설계에 유리하고, 심리적 압박감이 적어 주행성이 우수하다는 등의 이점을 가진 반면, 특히 적설지에서의 원통절개식·벨마우스식은 갱문으로 눈이 날아들기 쉽고 천장부에 눈차양 및 노면에 눈이 쌓이기 쉬운 점 등의 단점이 보고되고 있으므로 이에 대응하는 현지조건 파악이나 유지관리 등에 신중을 기하여야 한다. 또한 Arch Culvert구조의 일부가 되메움토로부터 노출되는 경우는 온도변화, 건조수축, 지진 등의 영향을 받기 쉬운 상태이므로 이에 대한 관리를 철저히 해야 한다.

(가) 벨마우스식

갱구부 주변지형이 개활지이며, 터널형상을 강조하고자 할 경우에 적용되는 갱문형식으로서, 특수거푸집이 필요하고 작업 공기가 길며 경비가 많이 소요되는 단점이 있으나 주행시 위화감이 적고 주변지형과도 환경 친화적이어서 산악지형의 도로터널에 많이 적용된다. 국내에서는 강원도 횡성군 소재의 영동1터널, 영동2터널 등이 이에 해당한다.

(나) 파라페트식

주로 완경사 지형에 적합하고 적설지역 등에 유리한 갱문형식으로, 주행시 운전자에게 주는 위압감이 적은 형식으로서 주변지형과의 조화가 양호하다. 국내에서는 영동고속도로의 진부1터널 등 대부분의 고속도로 터널에 적용된 형식이다.

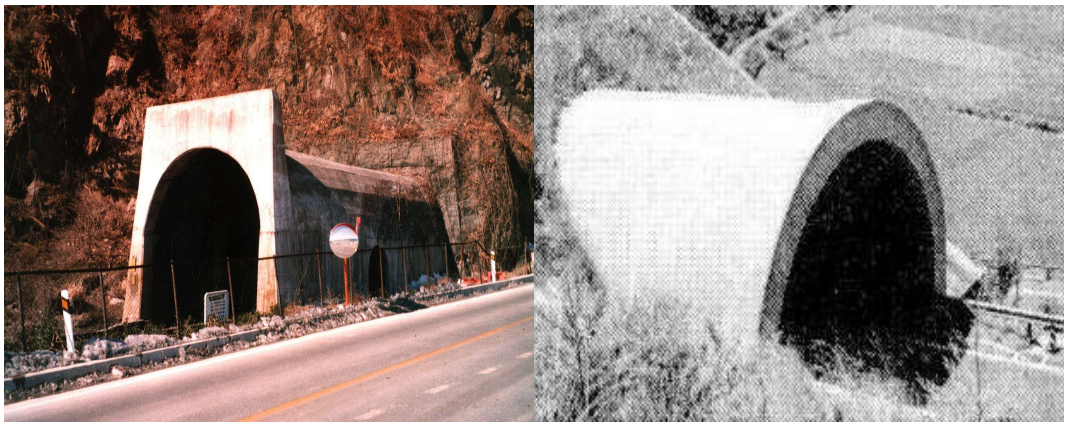
(다) 원통 절개식

입출구 주변이 완경사인 경우에 시공하는 형식으로서 주행시 운전자가 느끼는 위압감이 적고 주변지형과 잘 조화됨으로 면벽식 다음으로 국내 적용사례가 많은 형식이다. 최근에 시공된 국내 고속도로터널, 고속철도터널 등 대다수의 갱문이 이에 해당한다.

[해설 사진 2.2.59] 돌출형 갱문의 사례 (벨마우스식, 파라페트식, 원통절개식)

(라) 돌출식

압성토를 시공한 경우로서 입·출구부 주변지반이 불량하여 낙석, 토석류 등의 사고를 대비하기 위해 시공되는 갱문형식이다. 주행시 위압감이 적고 주변지형과의 조화도 비교적 양호한 편이다. 국내에서는 피암터널의 형식으로 일부 철도터널과 수송용 터널에 적용되고 있는 형식이며, 일본의 쿠라키 터널 등의 갱문이 이러한 형식에 해당한다.



[해설 사진 2.2.60] 돌출식 피암터널의 사례

2.3 재료시험 항목 및 기준수량

2.3.1 정밀점검

가. 재료시험 항목 및 평가방법

[표 2.6] 정밀점검의 재료시험 항목

구 분	기본과업	선택과업
콘크리트 라이닝	○ 측점분할 ○ 콘크리트 강도 (비파괴 : 반발경도시험) ○ 탄산화깊이 측정 시험	○ 콘크리트 강도 (국부파괴 : 코어시험) ○ 염화물함유량시험[1)]

주1) ◦ 염화물함유량시험 대상은 다음 표에서 정하는 해안에서 250m 이내 거리에 위치하고 있는 시설물을 대상으로 하며 시험부재의 철근깊이까지 10㎜ 또는 20㎜ 단위로 깊이별로 구분하여 KS F 2713(2002)의 산-가용성 염화물시험방법으로 실시하여 염화물의 분포를 파악하여야 한다.

◦ 또한, 동절기 염화칼슘 등의 사용 등에 따라 염해의 우려가 있는 시설물도 포함한다.

[염해에 관한 외적 성능 저하요인의 구분]

구분	해안에서 거리	염소이온의 침투정도
심한 염해 지역	0m 부근	조수간만 및 파도에 의해 빈번히 해수에 접한다.
보통 염해 지역	100m 이내	강풍시에 해수적(海水滴)이 비래하고, 콘크리트 면이 해수에 젖는다.
경미한 염해지역	250m 이내	해염입자가 비래하고 콘크리트중에 유해량의 염화물이 축적된다.
염해를 고려하지 않아도 좋은 지역	250m 초과	콘크리트중 유해량의 염화물이 거의 축적되지 않는다.

출처 : 염해 및 탄산화에 대한 철근콘크리트 구조물의 내구성 설계·시공·유지관리 지침 : 한국콘크리트학회('03.4)

【해설】

1. 측점분할 : 외관조사에서 구분한 Sheet Number(S/N)에 일정하게 자료를 획득할 수 있도록 측점위치를 선정한다. 전차년도의 자료가 있는 경우 비교평가를 위한 시험위치 및 S/N에 누락된 위치의 시험을 실시하도록 한다.
2. 국부파괴 : 전차년도에 채취된 코어의 압축강도와 위치를 고려하여 수량 등을 결정한다.
3. 탄산화 측정시험 : 하나의 터널이라 하여도 외기의 영향(연직갱, 환기구, 정거장, 연결터널 등)으로 탄산화 진행이 달라지며, 시공여건의 변화로 공구의 경계에 따른 사용된 콘크리트의 재질이 다르다. 또한, 탄산화 억제보수공법 및 표면처리공법, 조도개선을 위한 타일 등으로 탄산화의 진행정도에 영향을 주게 되어 조사위치 선정 시 이에 대한 고려가 선행되어야 한다.

[표 2.7] 정밀점검의 재료시험 평가방법

구 분	재료시험 항목	평가 방법
기본과업	○ 측점분할	○ 신축이음부 또는 평가단위로 분할
	○ 콘크리트강도 – 비파괴시험법 : 반발경도시험	○ 외관상 건전부위와 불량부위에 대한 비교평가 필요함.
선택과업	○ 콘크리트강도 – 국부파괴시험법 : 코어시험	○ 콘크리트강도 평가의 기준 ○ 필요시 콘크리트 물성시험 등
	○ 철근탐사 시험 – 철근배근상태 – 철근피복두께	○ 구조검토를 위한 철근조사 ○ 콘크리트의 강도 및 물성시험 등을 위한 철근위치 탐사
	○ 콘크리트 염화물 함유량	○ 시료채취 및 평가

【해설】

1. 콘크리트 강도 : 건전부와 불량부위 비교 평가시 위치, 표면처리, 외기영향, 보수 영향 등을 최소화 하는 위치를 선정함을 원칙으로 한다.

2. 철근탐사 시험 : 철근탐사 시험은 배근된 철근의 직경 및 간격을 조사 전에 도면검토를 통하여 개착식터널의 경우 전단철근의 위치, 철근연결부 등을 구조물의 현장치수에 맞추어 실시한다. 구조검토를 위한 철근탐사 시 NATM(철근)구간의 피복이 두꺼워 탐지능이 충분한 장비를 선정하여야 하며 개착식터널의 경우 주철근의 C.T.C 간격을 명확히 판단할 수 있도록 충분한 조사범위를 검토하여야 한다.

나. 재료시험 기준수량

[표 2.8] 정밀점검 기본과업의 재료시험 기준수량

구 분	재료시험 기준수량	비 고
측점분할	○5~20m 간격	○ 책임기술자 조정 가능
반발경도시험	○총수량 = (총연장 ÷ 300m)개소	○ 책임기술자가 상향조정 가능
탄산화깊이 측정	○철근콘크리트 구조물 -총연장 1,000m미만 : 2개소 -총연장 1,000m이상 : 최소2개소+1,000m당 1개소 추가	○ 책임기술자가 상향조정 가능

[표 2.9] 정밀점검 선택과업의 재료시험 기준수량

구 분	재료시험 기준수량	비 고
코어채취[1)]	○총연장 = • 1,000m미만 : 2개소 • 1,000m이상 : 최소2개소+1,000m당 1개소 추가	○ 책임기술자가 상향조정 가능 ○ 실내시험 선택과업
염화물 함유량 시험		○ 책임기술자가 상향조정 가능

주1) 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존 자료 이용 가능

【해설】

1. 측점분할 : 책임기술자는 관리주체의 유지관리 현황 및 구조물의 단면특성 등을 고려하여 측점분할 간격을 조정할 수 있다.

2. 정밀점검은 간단한 재료시험을 포함하는 점검행위로 기본과업과 선택과업은 상태평가를 위한 최소한의 시험항목으로 규정하였다. 각 과업에 해당되는 시험항목의 평가 및 시험방법은 세부지침 공통편 부록의 “재료시험의 요령”의 내용을 따른다.

3. "재료시험 기준수량"은 과업을 위한 최소의 수량을 말하며 점검 책임기술자의 판단에 따라 추가적인 시험의 개소수가 필요한 경우에는 관리주체와 협의하여 시험수량을 달리할 수 있다.

4. 지침에 명시된 수량 기준은 최소한의 물량으로 과업구간에 포함되는 구조물의 단면변화, 재료 및 시공변화를 고려할 수 있도록 균등하게 배분하여 실시하여야 한다.

< 재료시험 수량 예시 1 >

· 조정비가 반영된 도로터널 연장 : 1,860m

· 반발경도 시험 : $1{,}860(m)/300(m) = 6.2 = 7$개소 (최소물량)

· 탄산화깊이 측정 : $1{,}860(m)/1{,}000(m) = 2(\text{기준}) + 1(1{,}000m\text{당}) = 3$개소 (최소물량)

· 코어채취 및 염화물함유량 시험 : 탄산화깊이 측정과 동일 개소

< 재료시험 수량 예시 2 >

· 조정비가 반영된 덕트슬래브를 지닌 도로터널 연장 : 1,860m

· 반발경도 시험 : $1{,}860(m)/300(m) = 6.2 =$ 도로부 7개소
덕트부 7개소 = 14개소

(책임기술자의 판단으로 덕트부와 도로부를 비교평가하고자 수행)

· 탄산화깊이 측정 : $1{,}860(m)/1{,}000(m) = 2(\text{기준}) + 1(1{,}000m\text{당}) =$
덕트부 3개소 + 도로부 3개소 = 6개소

(책임기술자의 판단으로 덕트부와 도로부를 비교평가하고자 수행)

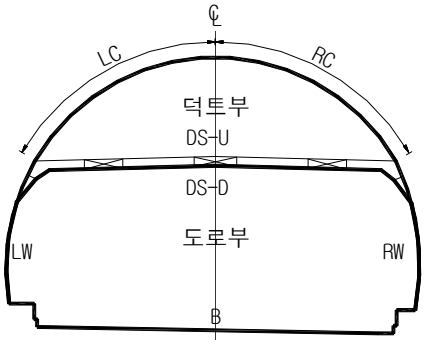
· 코어채취 및 염화물함유량 시험 : 구조물 보호를 위해 최소물량 실시

$1{,}860(m)/1{,}000(m) = 2(\text{기준}) + 1(1{,}000m\text{당}) = 3$개소

(책임기술자와 관리주체가 협의하여 덕트부만 수행)

5. 탄산화 깊이 측정은 기존 GPR 보고서 및 준공도를 참고하여 NATM(철근)구간에도 수행되도록 측점을 선정하여 하며, 개착식터널의 경우 기존 철근배근 탐사결과 및 준공도를 감안하여 시험위치의 일관된 측점을 선정하여 실시한다.

6. 덕트슬래브를 지닌 터널의 경우 S/N를 대표하는 탄산화 진행 깊이는 덕트라이닝, 덕트슬래브, 도로부 라이닝의 위치별 측정결과를 비교하여 결정하며 이를 위해 책임기술자의 판단에 따른 수량산정이 필요하다.



[해설 그림 2.3.1] 도로터널의 덕트슬래브 예시

2.3.2 정밀안전진단

가. 재료시험 항목

[표 2.10] 정밀안전진단의 재료시험 항목

구 분	기본과업	선택과업
콘크리트 라이닝	○ 측점분할 ○ 터널 단면측량 ○ 콘크리트 강도 – 비파괴 : 반발경도시험, 초음파법 ○ 철근배근탐사 – 철근간격 – 철근피복두께 ○ 탄산화 깊이 측정 ○ 철근부식도조사 ○ 균열깊이조사 ○ 염화물함유량시험[1)]	○ 콘크리트 강도 – 국부파괴 : 코어시험 ○ 내공변위 측정 ○ 진동 및 소음측정 ○ 변형률 측정 ○ 수질조사 및 침전물 분석 ○ 지표·지질조사 등 – 시추조사 – 지반탐사

주1) 염화물함유량 시험은 [표 2.6]에 따라 실시하되 책임기술자가 해수 또는 해사사용의 영향을 받는 것으로 판단될 경우 염화물함유량시험을 실시할 수 있다.

【해설】

1. 터널단면 측량 : 터널의 건축한계 및 구축한계(차량한계)는 선형으로 측정하기 곤란하여 광파측량기를 이용하여 내공단면을 측정하며 선로 및 차선 중앙 기준으로 준공도와의 차이를 비교하여 평가한다. 또한, 종단기울기 등을 평가하여 준공도와 비교하게 된다.

2. 내공변위 측정 : 터널의 지반조건이 불량하거나 라이닝에 조사된 결함이 큰 경우 과업 중에 책임기술자가 판단하여 내공변위 핀을 설치하여 온도와 함께 관리주체가 보유하고 있는 내공변위를 이용하여 정기적으로 측정하여 유지관리의 효과를 높일 수 있다. 진단을 수행하는 업체의 장비를 이용할 경우, 장비의 특성 및 계측자료를 지속적으로 관리되도록 D/B를 구축해야 한다.

3. 진동 및 소음측정 : 열차 및 차량의 운행으로 인한 터널 라이닝 및 부대시설의 영향을 평가할 수 있으며 측정 시 안전관리 및 주행을 방해하지 않도록 현장여건을 충분히 고려하여 시험위치 및 방법을 결정해야 한다.

4. 변형률 측정 : 라이닝의 변형률을 측정하고 코어일축압축강도를 이용하여 탄성계수를 구하면 라이닝에 작용하는 응력을 구할 수 있다. 이를 라이닝의 허용응력과 비교하여 안전성을 평가하게 된다. 하지만, 현재까지 이에 대한 정도 높은 현장검증이 부족하여 향후 추가적인 연구 및 현장적용이 필요할 것이다.

5. 수질 및 침전물 분석 : 누수 및 배수가 되는 측점에서 무균병에 시료를 채취하여(2L정도) 성분분석을 실시하며 그 결과에 따른 콘크리트의 영향, 상부 유입수의 평가, 주변 매립장 등의 오염원 유입정도를 평가한다.

6. 시추조사 : 터널주변의 지층 및 물성의 자료가 부족하거나 내진성능평가 등의 동적물성치를 평가하기 위해 책임기술자가 선정한 위치에서 NX크기 이상의 시추를 실시한다. 준공 후 시추되는 자료는 향후 유지관리를 위한 중요한 D/B로 활용될 수 있도록 관리되어야 한다.

7. 지반탐사 :
   (1) 라이닝의 평가 : NATM의 2차라이닝과 지보재와의 층분리(들뜸), 라이닝 두께, 공동의 범위, 1차 지보의 시공상태(강지보 간격, 와이어메쉬 유무, 철근배근 유무) 등에 대한 평가
   (2) 지중구조물의 평가 : 터널 상부의 지중매설물 중 상·하수도관의 위치, 누수유무, 도로터널 포장하부에 매설된 배수관 설치유무 등을 판단할 경우 본 시험을 수행한다.

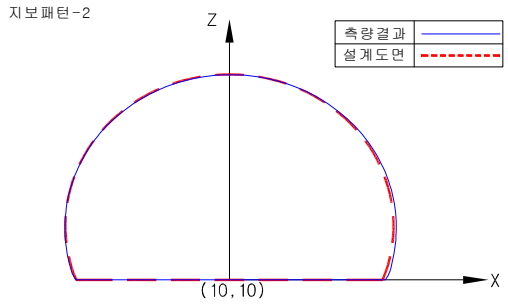
[표 2.11] 정밀안전진단의 재료시험 평가방법

구 분	재료시험 항목	평가 방법
기본과업	○ 측점분할	○ 신축이음부 또는 평가단위로 분할
	○ 터널 단면측량	○ 내공단면의 상태파악 ○ 종・횡단측량 및 선형측량
	○ 콘크리트강도(비파괴시험법) :반발경도시험, 초음파법	○ 외관상 건전부위와 불량부위에 대한 비교평가 필요함.
	○ 철근탐사시험 – 철근배근상태 – 철근피복두께	○ 구조검토를 위한 철근조사 ○ 콘크리트의 강도 및 물성시험 등을 위한 철근 위치 탐사
	○ 콘크리트 탄산화 깊이 측정	○ 현장측정 ○ 탄산화속도계수 산정
	○ 철근부식도시험	○ 주요부재의 철근 대상 ○ 철근부식확률 평가
	○ 염화물함유량시험	○ 시료채취 및 평가
	○ 균열깊이 조사	○ 철근 매입깊이 이상 발전 또는 관통 여부 등 평가
선택과업	○ 콘크리트 강도(국부파괴법)	○ 콘크리트강도 평가의 기준 ○ 필요시 콘크리트 물성시험 등
	○ 내공변위 측정	○ 터널의 붕괴징후 및 변위 예측
	○ 진동 및 소음측정	○ 터널 라이닝에 미치는 영향 평가
	○ 변형율 측정	○ 터널 라이닝의 안전성평가
	○ 수질조사 및 침전물 분석	○ 콘크리트와의 화학반응 여부 판단
	○ 시추조사	○ 과업내용에 의해 조사 및 수량결정
	○ 지반탐사	○ 과업내용에 의해 조사 및 수량결정

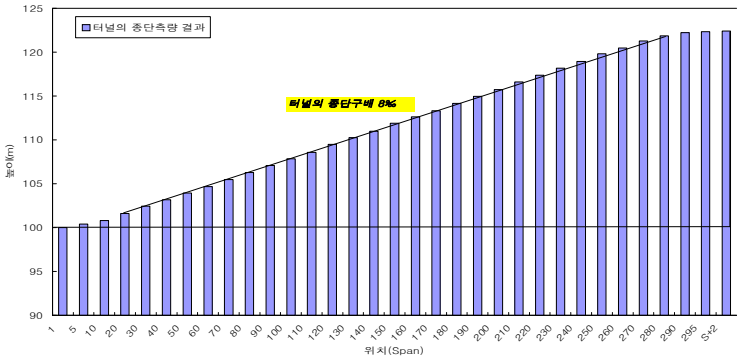
【해설】

1. 터널 단면측량

(1) 내공단면을 측정한 단면측량 예시



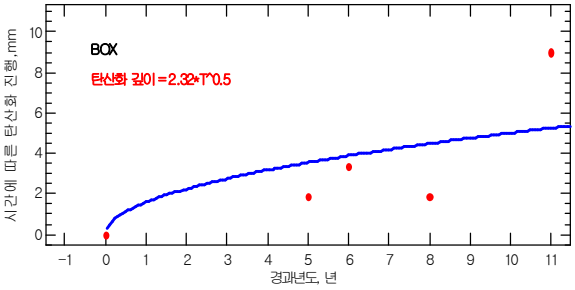
(2) 노선 종단측정을 통한 단면측량 예시

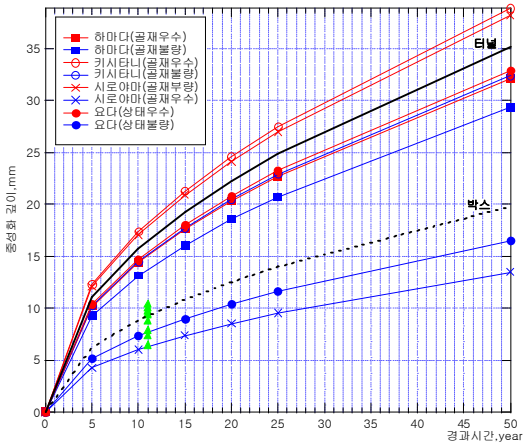


2. 콘크리트 탄산화 깊이 측정

(1) 현장 측정결과를 이용한 탄산화 속도계수 평가 예시

기존보고서 및 D/B가 있는 경우 경과년에 따른 탄산화진행 정도를 경험적 방법으로 평가 가능하며 기존 제안식과의 비교 등의 방법도 수행하여 보다 정도가 높은 분석을 실시할 수 있을 것이다.





나. 재료시험 기준수량

[표 2.12] 정밀안전진단 기본과업의 재료시험 기준수량

구 분	재료시험 기준수량	비 고
측점분할	○ 5～50m 간격	○ 책임기술자 조정 가능
단면측량	○ 총수량 = (총연장÷200m)+1개소	○ 책임기술자 조정 가능
반발경도시험	○ 총수량 = (총연장÷100m)×2개소	○ 동일 부위 시험 원칙 ○ 책임기술자가 상향조정 가능
초음파법		
철근탐사시험	○ 총연장 1,000m 미만 = 4개소 ○ 총연장 1,000m 이상 = 최초 4개소 + 500m당 1개소 추가	○ 가능한 한 이전의 시험부위와 중복 피함 ○ 책임기술자가 상향조정 가능
염화물 함유량시험	<상 동>	○ 책임기술자가 상향조정 가능
탄산화 깊이 측정	<상 동>	○ 책임기술자가 상향조정 가능
철근부식도시험	○ 책임기술자의 판단에 따라 조사 및 수량 결정	
균열깊이 조사	○ 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정	

【해설】

1. 일반사항은 정밀점검에 예시된 내용 및 설명을 참고한다.

2. 철근부식도시험 및 균열깊이 조사 : 기존 자료분석 내용과 철근부식 위험성이 낮은 것으로 책임기술자가 판단할 경우 관리주체와 협의하여 구조물 파괴시험을 생략할 수 있다.

[표 2.13] 정밀안전진단 선택과업의 재료시험 기준수량

구 분	재료시험 기준수량	비 고
코어채취[1)]	○총연장 1,000m 미만 = 4개소 ○총연장 1,000m 이상 = 최초 4개소 + 500m당 1개소 추가	○실내시험 실시 ○책임기술자가 상향조정 가능
내공변위 측정	○과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
진동 및 소음측정	○과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
변형율 측정	○과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	
수질 및 침전물조사	○과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	

주1) 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존 자료 이용 가능

2.4 상태평가 기준 및 방법

2.4.1 상태평가 기준

가. 일반

1) 기본시설 및 부대시설

터널의 기본시설과 부대시설은 [표 2.14]와 같다.

터널 부대시설 중에서 시설물의 중요도가 상대적으로 작으며 본선 구조물에 부분적으로 확폭 또는 접속된 별도공간인 비상주차대, 대피소/변압기굴, 덕트슬래브, 배전실/통신실/기재갱 등은 상태평가시 기본시설에 포함하여 평가한다.

시설물의 중요도 및 규모 등이 상대적으로 큰 연직갱/경사갱, 환기구, 피난연락갱, 연결터널 등은 별도평가 후 부대시설 가중치를 적용하여 시설물을 평가한다.

상태평가 대상구간에 무근콘크리트 라이닝과 철근콘크리트 라이닝 또는 개착터널과 NATM터널 구간이 교호하여 시공된 경우 각각 평가 후 각 길이를 환산한 가중치를 적용한 가중산술평균 방법으로 평가한다.

터널 갱구부에 비탈면 또는 옹벽 등이 존재하는 경우 상태평가기준은 본 세부지침에서 설정하고 있는 상태평가기준을 각각 적용한다.

[표 2.14] 터널의 기본시설물과 부대시설물의 종류

기본시설물	부대시설물
○ 본선라이닝	○ 연직갱 및 경사갱
○ 갱문	○ 환기구
○ 개착터널	○ 피난연락갱
○ 지하차도	○ 연결터널(환기시설)
○ 지하정거장	○ 갱구부옹벽

【해설】

1. 터널 갱구부에 있는 비탈면의 상태평가기준은 본 세부지침의 “제12장 절토사면”을 적용하고, 옹벽의 상태평가기준은 본 세부지침의 “제11장 옹벽”을 적용한다.
2. 터널 갱구부에 있는 비탈면과 옹벽은 터널의 부대시설로써 별도평가 후 부대시설 가중치를 적용하여 시설물을 평가한다.(혹은 옹벽배면 비탈면의 경우, 터널 갱구부에 있는 주변 영향인자로서의 상태로 적용하여 평가한다.)

2) 상태평가 항목

터널의 상태평가는 라이닝 상태평가와 터널주변 상태평가로 구분하여 실시하며 상태평가시 고려해야할 주요 평가항목은 다음과 같다.

[표 2.15] 터널 상태평가 항목

구 분		평 가 항 목
터널상태 평 가	라이닝 상 태	◦균 열 ◦누 수 ◦파손 및 손상 ◦재질열화(박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리, 철근노출, 탄산화, 염화물)
	터널주변 상 태	◦배수상태 ◦지반상태 ◦갱문상태 ◦공동구상태 ◦특수조건 : 도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널 (추가점수 부여)

나. 기본시설 결함기수 산정기준

1) 터널별 결함지수 산정기준

터널 시설물 분류에 따른 터널별 상태평가를 위한 결함점수와 결함지수 산출방법은 다음과 같다. 여기서, 라이닝 결함지수(f)는 터널주변 항목점수를 제외한 라이닝만의 결함점수인 총점 36점(조적식 : 26점, 무근콘크리트 : 27점)으로 계산되며, 터널 결함지수(F)는 라이닝의 결함점수 및 터널주변 결함점수를 모두 합한 총점 43점(조적식 : 33점, 무근콘크리트 : 34점, 지하차도 등 : 42점)으로 계산하여 상태평가 결과를 산정하면 된다.

(가) 재래식터널(조적식 라이닝)

평가기준			a	b	c	d	e
			0 ≦ f < 0.15	0.15 ≦ f <0.30	0.30 ≦ f <0.55	0.55 ≦ f <0.75	0.75 ≦ f
라이닝	줄눈균열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
	누 수		0	1	2	3	4~5
	파손 및 손상		0	0	1	2	3
	재질열화	박 리	0	0	1	1	1
		층분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백 태	0	0	1	1	1
터널주변	배수상태		오 염 됨 : 1				
			배수불량 또는 막힘 : 2				
	지반상태		풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3			
				영향범위 외 : 1			
	갱문상태		손 상 : 0.5~1				
	공동구상태		덮개파손 및 오염됨 : 0.5				
			이물질 퇴적 및 침수 : 1				
특수조건			도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1~3				

$$\text{라이닝 결함지수}(f) = \frac{\Sigma\text{결함점수}}{26},\ \text{터널결함지수}(F) = \frac{\Sigma\text{결함점수}}{33}$$

(나) 재래식터널(무근콘크리트 라이닝)

평가기준			a	b	c	d	e
			0 ≦ f <0.15	0.15 ≦ f <0.30	0.30 ≦ f <0.55	0.55 ≦ f <0.75	0.75 ≦ f
라이닝	균 열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
	누 수		0	1	2	3	4~5
	파손 및 손상		0	0	1	2	3
	재질열화	박 리	0	0	1	1	1
		층분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백 태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
터널주변	배수상태		오 염 됨 : 1				
			배수불량 또는 막힘 : 2				
	지반상태		풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3			
				영향범위 외 : 1			
	갱문상태		손 상 : 0.5~1				
	공동구상태		덮개파손 및 오염됨 : 0.5				
			이물질 퇴적 및 침수 : 1				
특수조건			도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1~3				

라이닝 결함지수(f) $= \frac{\Sigma \text{결함점수}}{27}$, 터널결함지수(F) $= \frac{\Sigma \text{결함점수}}{34}$

(다) NATM터널(무근콘크리트 라이닝)

평가기준			a	b	c	d	e
			0 ≦ f <0.15	0.15 ≦ f <0.30	0.30 ≦ f <0.55	0.55 ≦ f <0.75	0.75 ≦ f
라이닝	균 열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
	누 수		0	1	2	3	4~5
	파손 및 손상		0	0	1	2	3
	재질열화	박 리	0	0	1	1	1
		층분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백 태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
터널주변	배수상태		오 염 됨 : 1				
			배수불량 또는 막힘 : 2				
	지반상태		풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3			
				영향범위 외 : 1			
	갱문상태		손 상 : 0.5~1				
	공동구상태		덮개파손 및 오염됨 : 0.5				
			이물질 퇴적 및 침수 : 1				
특수조건			도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1~3				

라이닝 결함지수(f) $= \frac{\Sigma \text{결함점수}}{27}$, 터널결함지수(F) $= \frac{\Sigma \text{결함점수}}{34}$

(라) NATM터널(철근콘크리트 라이닝)

평가기준			a	b	c	d	e
			0 ≦ f < 0.15	0.15 ≦ f < 0.30	0.30 ≦ f <0.55	0.55 ≦ f <0.75	0.75 ≦ f
라이닝	균 열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
	누 수		0	1	2	3	4~5
	파손 및 손상		0	0	1	2	3
	재질열화	박 리	0	0	1	1	1
		층분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백 태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		탄 산 화	0	1	2	3	–
		염 화 물	0	1	1	2	–
터널주변	배수상태		오 염 됨 : 1				
			배수불량 또는 막힘 : 2				
	지반상태		풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3			
				영향범위 외 : 1			
	갱문상태		손 상 : 0.5~1				
	공동구상태		덮개파손 및 오염됨 : 0.5				
			이물질 퇴적 및 침수 : 1				
특수조건			도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1~3				

라이닝 결함지수(f) $= \dfrac{\Sigma \text{결함점수}}{36}$, 터널결함지수(F) $= \dfrac{\Sigma \text{결함점수}}{43}$

(마) TBM 터널(콘크리트 세그먼트 라이닝)

평가기준			a	b	c	d	e
			0 ≦ f <0 .15	0.15 ≦ f <0.30	0.30 ≦ f <0.55	0.55 ≦ f <0.75	0.75 ≦ f
라이닝	균 열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
	누 수		0	1	2	3	4~5
	파손 및 손상		0	0	1	2	3
	재질열화	박 리	0	0	1	1	1
		층분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백 태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		탄 산 화	0	1	2	3	–
		염 화 물	0	1	1	2	–
터널주변	배수상태		오 염 됨 : 1				
			배수불량 또는 막힘 : 2				
	지반상태		풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3			
				영향범위 외 : 1			
	갱문상태		손 상 : 0.5~1				
	공동구상태		덮개파손 및 오염됨 : 0.5				
			이물질 퇴적 및 침수 : 1				
특수조건			도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1~3				

라이닝 결함지수(f) $= \dfrac{\Sigma \text{결함점수}}{36}$, 터널결함지수(F) $= \dfrac{\Sigma \text{결함점수}}{43}$

(바) 개착식터널(BOX형 철근콘크리트 구조물)

개착식터널에 대한 상태평가는 철근콘크리트구조물의 평가방법에 준하며, 본 상태평가 기준을 적용하는 경우 철근콘크리트 구조물에 대한 평가방법을 적용한다.

평가기준			a	b	c	d	e
			0 ≦ f <0 .15	0.15 ≦ f <0.30	0.30 ≦ f <0.55	0.55 ≦ f <0.75	0.75 ≦ f
철근콘크리트 구조물	균 열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
	누 수		0	1	2	3	4~5
	파손 및 손상		0	0	1	2	3
	재질열화	박 리	0	0	1	1	1
		층분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백 태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		탄 산 화	0	1	2	3	–
		염 화 물	0	1	1	2	–
터널주변	배수상태		오 염 됨 : 1				
			배수불량 또는 막힘 : 2				
	지반상태		풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3			
				영향범위 외 : 1			
	갱문상태		손 상 : 0.5~1				
	공동구상태		덮개파손 및 오염됨 : 0.5				
			이물질 퇴적 및 침수 : 1				
특수조건			도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1~3				

라이닝 결함지수(f) $= \frac{\Sigma \text{결함점수}}{36}$, 터널결함지수(F) $= \frac{\Sigma \text{결함점수}}{43}$

(사) 지하차도, 지하정거장 및 지하역사

지하차도, 지하정거장 및 지하역사에 대한 상태평가는 철근콘크리트구조물의 평가방법에 준하여 적용한다.

지하차도의 부대시설인 U-Type 옹벽의 상태평가는 제11장 「옹벽」에서 설정하고 있는 상태평가기준을 적용하여 각각 평가한다.

평가기준			a	b	c	d	e
			0 ≦ f < 0.15	0.15 ≦ f <0 .30	0.30 ≦ f <0 .55	0.55 ≦ f <0 .75	0.75 ≦ f
철근 콘크리트 구조물	균 열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
	누 수		0	1	2	3	4~5
	파손 및 손상		0	0	1	2	3
	재질열화	박 리	0	0	1	1	1
		층분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백 태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		탄 산 화	0	1	2	3	-
		염 화 물	0	1	1	2	-
주변상태	배수상태		오 염 됨 : 1~2				
			배수불량 또는 막힘 : 3~4				
	갱문(접속부) 상태		손 상 : 1~2				

철근콘크리트 결함지수 (f) $= \frac{\Sigma \text{결함점수}}{36}$, 터널결함지수 (F) $= \frac{\Sigma \text{결함점수}}{42}$

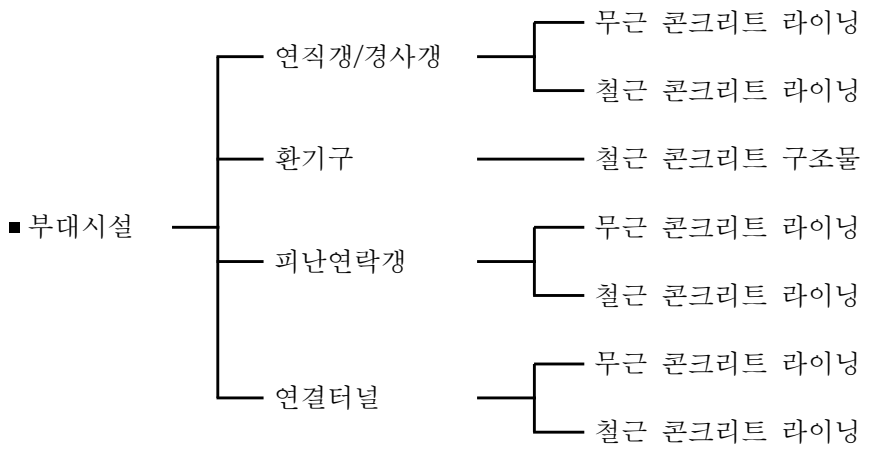
【해설】

1. 결함지수 산정시 항목별 산술평균값이 경계값일 경우(예시, 균열-2.8일 때)에는 소수점이하 버림값의 평가기준을 적용한다.
2. 주변상태 평가시 양호한 경우에 0을 적용하며 분모값은 변함없다.
3. 특수조건의 추가점수 부여시에는 보다 구체적인 사항을 통해 점수를 부여한다.

나. 부대시설 결함지수 산정기준

1) 터널 부대시설 분류

터널 부대시설 중에서 중요도 및 규모가 상대적으로 큰 별도평가 부대시설을 기능 및 구조물의 재질에 따라 분류하면 [그림 2.2]와 같다.



[그림 2.2] 부대시설 분류

【해설】

1. 표 2.14와 부대시설 분류가 다름. 갱구부 옹벽 및 비탈면 평가는 현행 해당시설물의 개별 세부지침에 따라 평가를 실시하여 적용한다.

2) 부대시설 상태평가 항목

터널 부대시설은 기본시설과 같이 무근 및 철근콘크리트로 구성되어 있으므로 상태평가 시 고려해야할 주요 평가항목은 다음 [표 2.16]과 같다.

부대시설 중에 숏크리트, 록볼트 등으로 터널의 안전성이 확보되거나 지반이 견고하여 풍화의 우려가 없고 사용상 지장이 없어 콘크리트 라이닝을 생략한 경우에는 책임기술자가 현장여건을 고려하여 상태평가 항목 및 평가기준을 조정할 수 있다.

[표 2.16] 부대시설 상태평가 항목

구 분	평 가 항 목
부 대 시 설 상 태 평 가	◦균 열 ◦누 수 ◦파손 및 손상 ◦재질열화(박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리, 철근노출, 탄산화, 염화물)

3) 부대시설 가중치

부대시설 평가결과를 기본시설을 포함한 전체시설물의 상태평가 결과에 반영하기 위한 방법으로 다음과 같이 기본시설과 별도로 부대시설 결함점수에 따른 가중치를 정하였으며, 부대시설 평가기준은 기존의 산정 개념과 유사하게 보수적인 관점에서 하위상태에 비중을 두어 산정한다.

부대시설 가중치 적용은 기본시설 결함지수(F)에 부대시설 가중치(W)를 곱하여 전체 시설물의 결함지수(F)를 산정하고, 시설물 상태평가 결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

시설물의 결함지수(F) = 기본시설 결함지수(F) × 부대시설 가중치(W)

[표 2.17] 부대시설의 가중치

가중치(W)	1.0	1.00	1.02	1.05	1.10
부대시설 결함지수	0 ≦ f <0.15	0.15 ≦ f <0.30	0.30 ≦ f <0.55	0.55 ≦ f <0.75	0.75 ≦ f
시설물 상태평가	문제점이 없는 최상의 상태	기능수행에 영향이 없으나 일부 보수가 필요한 상태	부재의 손상이 있으나 기본 시설 기능 수행에 문제가 없는 상태	부재의 손상이 중대하여 기본시설에 영향을 주는 상태	기본시설의 기능수행에 문제를 일으켜 즉각적인 조치가 필요한 상태

부대시설의 상태평가는 개별 부대시설을 각각 평가한 후 산술평균하여 부대시설 결함지수를 산정하고 부대시설 상태평가 결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

부대시설의 결함지수(f) = $\sum$(fn) / N

여기서, fn : 개별 부대시설의 상태평가 결함지수

N : 개별 부대시설의 개수

부대시설 상태평가 결과 산정

- A등급(우수) : 터널 결함지수(f) 0.00≦f<0.15
- B등급(양호) : 터널 결함지수(f) 0.15≦f<0.30
- C등급(보통) : 터널 결함지수(f) 0.30≦f<0.55
- D등급(미흡) : 터널 결함지수(f) 0.55≦f<0.75
- E등급(불량) : 터널 결함지수(f) 0.75≦f

4) 부대시설 결함지수 산정기준

터널 부대시설 구조물 분류에 따른 상태평가를 위한 결함점수와 결함지수 산출방법은 다음과 같다.

(가) 무근 콘크리트

평가기준		a	b	c	d	e
		0 ≦ f <0.15	0.15 ≦ f <0.30	0.30 ≦ f <0.55	0.55 ≦ f <0.75	0.75 ≦ f
균 열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
누 수		0	1	2	3	4~5
파손 및 손상		0	0	1	2	3
재 질 열 화	박 리	0	0	1	1	1
	층분리 및 박락	0	0	1	2	3
	백 태	0	0	1	1	1
	재료분리	0	0	1	1	1

$$\text{부대시설 결함지수(f)} = \frac{\Sigma\text{결함점수}}{27}$$

(나) 철근 콘크리트

평가기준		a	b	c	d	e
		0 ≦ f <0.15	0.15 ≦ f <0.30	0.30 ≦ f <0.55	0.55 ≦ f <0.75	0.75 ≦ f
균 열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
누 수		0	1	2	3	4~5
파손 및 손상		0	0	1	2	3
재 질 열 화	박 리	0	0	1	1	1
	층분리 및 박락	0	0	1	2	3
	백 태	0	0	1	1	1
	재료분리	0	0	1	1	1
	철근노출	0	1	2	3	4
	탄 산 화	0	1	2	3	–
	염 화 물	0	1	1	2	–

$$\text{부대시설 결함지수(f)} = \frac{\Sigma\text{결함점수}}{36}$$

2.4.2 상태평가 항목 및 기준

가. 기본시설 상태평가 항목 및 기준

평가항목은 5단계로 세분하였고, 평가항목별 상태평가기준은 터널 상태평가 결과와의 차이를 두기 위하여 소문자 a, b, c, d, e 로 표기한다.
세부기준은 기존 국내기준과 국외기준을 참고하여 결정하였으며, 설문조사를 통한 실무자들의 의견과 현실적인 여건을 고려하여 정하였다. 또한, 각각의 평가항목에 대한 상태평가는 가장 대표적인 것을 기준으로 하여 결정하도록 하며, 여러 개소에서 조사될 경우에는 하향평가 한다. 터널 라이닝의 상태평가 단위길이는 일반적으로 30m를 기준으로 한다. 상태평가 단위길이는 터널 라이닝의 신축이음(약 20～30m)을 고려하여 책임기술자의 판단에 따라 조정할 수 있다.

1) 균 열

구 분 \ 평가기준		a	b	c	d	e
콘크리트 라이닝	무근(균열)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 이상 0.3㎜ 미만	0.3㎜ 이상 1.0㎜ 미만	1.0㎜ 이상 3.0㎜ 미만	3.0㎜ 이상
	철근(균열)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 이상 0.3㎜ 미만	0.3㎜ 이상 0.5㎜ 미만	0.5㎜ 이상 0.7㎜ 미만	0.7㎜ 이상
개착터널	BOX(균열)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 이상 0.3㎜ 미만	0.3㎜ 이상 0.5㎜ 미만	0.5㎜ 이상 0.7㎜ 미만	0.7㎜ 이상
조적식 라이닝	줄눈균열	없 음	아주 경미한 줄눈깨짐	벽돌 2개소 이하	벽돌 2～5개소	벽돌 5개소 이상

주) 진행성 균열의 경우 상태평가 결과가 ‘d’ 이하 또는 고정 균열의 경우 면적율 20% 이상으로 ‘e’ 이면 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

<해 설>

① 진행성의 유무가 확인되지 않은 경우에 적용하며 진행성이 확인되는 경우 평가는 하향조정하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰하도록 한다.
※ 진행성 여부의 판별은 주기적인 점검(정기점검) 결과를 활용해 판단한다.

② 균열형상은 종균열, 횡균열, 경사균열, 망상균열로 구분하며 횡균열을 제외한 균열은 평가는 하향조정할 수 있다.

(종균열) (횡균열) (경사균열) (망상균열)

③ 균열이 다음 스팬에 연속적으로 이어져 있는 경우 평가는 하향조정할 수 있다.

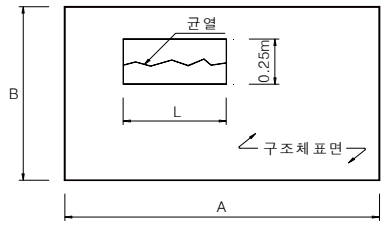
④ 구조적 균열은 설계 오류로 인한 균열, 외부 하중에 의한 균열, 단면 및 철근량의 부족에 의한 균열 등이 있다. 콘크리트 구조의 구조적 균열은 콘크리트와 철근사이의 응력, 변형률, 미끄러짐(slip), 부착응력 등에 따라 균열형성단계와 균열안정화 단계의 2단계로 형성된다. 구조적 균열발생시 면적율에 관계없이 평가는 1단계 하향조정하고, ‘d’이상으로 발생하였을 경우에는 안전성평가를 통하여 과하중의 양상과 그 결과의 분석을 실시하도록 한다.

⑤ 조적식 라이닝의 경우 줄눈깨짐의 연속성 정도에 따라 평가는 하향 조정하도록 한다.

⑥ 보수·보강부위는 기존의 균열폭과 길이의 변화, 새로운 균열 및 들뜸의 진행성 유무 등을 주기적인 점검(정기점검) 결과를 활용하여 평가할 수 있다.

⑦ 면적율이 20% 이하일 경우는 해당 상태평가결과를 기재하고, 면적율 20% 이상과 구조적균열 및 단차균열일 경우의 평가는 a→b, b→c, c→d, d→e, e→e로 하향 조정할 수 있다.

- 균열의 발생면적은 균열길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 하다.



$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{구조체표면(점검단위)면적}} \times 100 = \frac{\text{균열길이(L)}\times 0.25}{\text{A}\times\text{B(m)}} \times 100 = \quad \%$$

2) 누 수

평가기준 / 구 분	a	b	c	d	e
누 수	없 음	스며 있음	떨 어 짐	흐 름	분 출
	스며있음 떨어짐 흐름 분출				
해 설	1) 누수발생부위는 아치부와 측벽부, 노면으로 구분하며, 아치부에 누수가 발생하여 차량통행에 지장을 주는 경우 평가는 하향조정하도록 한다. 2) 아치부에 발생된 누수가 얼어 고드름이 형성된 경우와 측벽부에 발생된 누수가 얼어서 건축한계를 초과하여 차량통행에 지장을 주는 경우에는 평가는 하향조정 하도록 한다. 3) 노면에 토사유출 또는 동결이 발생되어 차량통행에 지장이 될 경우에는 평가는 하향조정하고, 그 원인을 정밀조사하도록 한다. 4) 누수가 배수공과 시공이음, 신축이음의 결함, 균열, 배면공동, 수맥 등의 영향으로 인하여 발생될 경우에는 수압 등에 의한 구조적 결함을 유발 시킬 수 있는지의 여부 등을 검토할 수 있다. 5) 누수는 건기시와 우기시에 따라 계절별로 차이가 발생할 수 있으므로 계절적 요인을 반영하여 평가할 수 있다. 6) 보수·보강부위는 누수상태(수질, 수량, 물흐름)의 변화 유무 등을 주기적인 점검(정기정검) 결과를 활용하여 평가할 수 있다.				

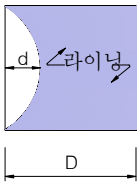
주) 상태평가 결과가 ‘d’ 이하이며, 토립자와 함께 나와 구조적 결함을 유발시킬 수 있거나 고드름 및 측빙 등으로 차량통행에 현저한 지장을 주는 경우 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

3) 파손 및 손상

구 분 \ 평가기준		a	b	c	d	e
콘크리트 라이닝	손 상 도	없 음	1/6 미만	1/6 이상 1/3 미만	1/3 이상 1/2 미만	1/2 이상
	손상면적	없 음	아주 경미한 상태	경미한 손상 (10㎝×10㎝미만)	중간 손상 (10㎝×10㎝이상, 30㎝×30㎝미만)	극심한 손상 (30㎝×30㎝이상)
조적식 라이닝	손상두께	없 음	벽돌부분 손상	벽돌 1개 이하	벽돌 1~2개	벽돌 2개 이상

해 설

1) 손상도는 콘크리트 라이닝에 대한 것으로 라이닝 두께에 대한 손상된 두께를 말하며, 일반적으로 라이닝 설계두께를 기준으로 하고, 라이닝 측정두께가 있는 경우 이를 기준으로 한다.



※ 손상도 = d(파손 및 손상두께)/D(라이닝두께)

2) 조적식 라이닝에서 파손 및 손상두께는 벽돌두께를 기준으로 적용한다.

3) 조적식 라이닝인 경우 파손 및 손상면적은 벽돌크기를 기준으로 하여 산정 하도록 한다.

4) 지반탐사 등으로 측정된 라이닝 두께가 설계두께에 못 미치는 경우에는 이를 손상으로 평가 할 수 있다.

5) 파손 및 손상발생부위는 아치부와 측벽부로 구분하며, 아치부에 파손 및 손상이 발생하여 낙하위험이 있는 경우 평가는 하향조정한다.

6) 면적율이 20% 이하일 경우는 해당 상태평가결과를 기재하고, 면적율이 20% 이상일 경우의 평가는 a→a, b→c, c→d, d→e, e→e로 하향조정할 수 있다.

주) 파손 및 손상에 대한 면적율이 20%이상으로 상태평가 결과가 'd' 이하이면 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

4) 재질열화(박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리, 철근노출, 탄산화, 염화물)

평가기준 / 구 분	a	b	c	d	e
박 리	없 음	0.5㎜ 미만	0.5㎜ 이상 1.0㎜ 미만	1.0㎜ 이상 25㎜ 미만	25㎜이상 이거나 조골재 손실
층분리 및 박락	없 음	깊이 12㎜미만 또는 직경 75㎜미만	깊이 12~25㎜미만 또는 직경 75~150㎜미만	깊이 25㎜이상 또는 직경 150㎜이상	박락이 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태
백 태, 재료분리	없 음	면적율 5%미만	면적율 5~10%	면적율 10~20%	면적율 20%이상
철근노출	없 음	면적율 1%미만	면적율 1~3%미만	면적율 3~5%미만	면적율 5%이상
탄산화 잔여깊이	30㎜ 이상	10㎜ 이상 ~ 30㎜ 미만	0㎜ 이상 ~ 10㎜ 미만	0㎜ 미만	-
전염화물 이온량	0.3kg/㎥이하	0.3kg/㎥ 초과 ~ 1.2kg/㎥ 미만	1.2kg/㎥ 이상 ~ 2.5kg/㎥ 미만	2.5kg/㎥ 이상	-

해 설

1) 박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리는 콘크리트의 재질에 대한 평가로서 경년이나 주변환경영향 등에 따라 열화되는 특성을 나타낸다.

2) 박리는 콘크리트 라이닝의 박리된 깊이를 기준으로 하며, 층분리 및 박락은 콘크리트 박락된 깊이, 직경, 상태 등을 고려하여 판단하도록 한다.

3) 박리·층분리 및 박락이 심한 경우에는 다른 변상조건들과 비교·검토하여 그 원인을 조사하도록 한다.

4) 백태 및 재료분리의 경우 발생범위와 정도로부터 판단하도록 한다.

5) 철근노출은 철근콘크리트 라이닝인 경우에 적용하며, 심한 부식이 우려되는 경우에는 부식도를 측정하여 철근의 부식상태를 평가하도록 한다.

또한, 철근노출 발생 면적은 철근 노출 길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 한다.

6) 탄산화 깊이에 대한 평가는 철근으로부터 탄산화의 남은 깊이를 지표로 하여 탄산화에 의한 강재부식 가능성을 나타낸 것으로 탄산화에 의한 단독 열화에 대하여 적용하며, 콘크리트 품질평가 기준인 탄산화는 직접적인 손상항목이 아닌 철근부식을 유발할 수 있는 환경에 관한 항목으로써 상태평가 기준 범위를 "a~d"로 한다.

평가는 철근의 피복은 조사 위치에서의 실측치를 기준으로 한다.

<일본구조물진단기술협회 「비파괴시험을 이용한 토목 콘크리트구조물의 건전도 진단 매뉴얼」 (2003년)>

7) 채취 코어의 전염화물 이온 시험결과에서 염화물에 의한 강재부식 가능성을 평가하며, 염화물 함유량은 직접적인 손상항목이 아닌 철근부식을 유발할 수 있는 환경에 관한 항목으로써 상태평가 기준 범위를 "a~d"로 한다.

염화물 함유량 분석은 철근 깊이까지 깊이별(10㎜ 또는 20㎜)로 단계를 구분하여 염화물 분포를 파악함을 원칙으로 하며, 염화물 이온농도의 분포를 도시한다.

<일본구조물진단기술협회 「비파괴시험을 이용한 토목 콘크리트구조물의 건전도 진단 매뉴얼」 (2003년)>

8) 박리, 층분리 및 박락의 면적율이 20% 이하일 경우는 해당 상태평가결과를 기재하고, 면적율이 20% 이상일 경우의 평가는 a→a, b→c, c→d, d→e, e→e로 하향 조정할 수 있다.

주) 탄산화 잔여깊이 또는 전염화물 이온량에 대한 상태평가 결과가 'd'등급이고, 철근노출의 상태평가 결과가 'e'등급이면 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

5) 배수상태

구 분	오 염 됨	배수불량 및 막힘(배수시설 작동불량)
결함점수	1 (1~2)	2 (3~4)
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. 4) 집수정이 설치된 경우 배수시설(펌프설비 등)의 작동유무, 정착상태, 전원설비상태 등을 점검하고 작동이 안되거나 정착이 불량한 경우 관리주체에 통보하여 교체 또는 수리 등의 조치가 가능하도록 하여야 한다.	

주) : 결함점수에서 ( )은 지하차도, 지하정거장 및 지하역사에 적용한다.

6) 지반상태

구 분	풍화변질 및 단층파쇄대			
	풍화변질	단 층 파 쇄 대		
		영향범위 외	영향범위 내	
			중·소규모 단층	대규모 단층
결함점수	1	1	2	3
해 설	1) 기시공된 터널에서는 주변지반상태를 육안으로 확인하는 것이 쉽지 않으므로 설계 및 시공자료를 참고하여 판단하도록 하며, 안전성 평가시 지반조사를 실시하여 지반상태를 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, 지표지질조사결과 그리고 필요시 인공위성사진, 항공사진 등을 이용하여 검토하도록 한다. 5) 이완토압, 편토압, 소성압 등으로 인하여 내공변위가 발생한 경우에는 단층파쇄대의 영향범위 내에 해당하는 점수를 부여한다. 6) 도심지 터널의 경우 낮은 심도로 인하여 불량지반, 복합지반에 위치하는 경우에 지반상태를 평가하고 영향범위에 따른 점수를 부여한다.			

7) 갱문(접속부)상태

구 분	손 상	
	보통인 상태	불량한 상태
결함점수	0.5 (1)	1 (2)
해 설	1) 갱구부는 터널의 입출구부로서 차량의 통행에 직접적인 영향을 주기 때문에 갱문(접속부)상태를 반영하여 손상여부를 평가한다. 2) 갱문(접속부)의 평가방법은 일반 콘크리트구조물에서의 평가방법에 준하며, 특히 주변지반의 변화상태 등에 유의하여야 한다. 3) 갱문(접속부)에 심각한 손상이 발생한 경우, 주변 지반조사를 실시하여 손상원인을 규명 하도록 한다.	

주) : 결함점수에서 ( )은 지하차도, 지하정거장 및 지하역사에 적용한다.

8) 공동구상태

구 분	덮개파손 및 오염됨	이물질 퇴적 및 침수
결함점수	0.5	1
해 설	1) 통신케이블, 신호용케이블, 전기케이블 등의 보호를 위해 터널내에 설치되는 공간을 가리키며, 일반적으로 배수구와 병행하여 시공된다. 2) 공동구의 오염상태, 덮개파손, 이물질의 퇴적이나 침수 등을 조사하여 상태를 평가하도록 한다.	

9) 특수조건(추가점수)

구 분	도심지 토사터널		전력구터널, 전차선을 설치한 터널		
	주의범위 (1D~2D)	제한범위 (1D 미만)	측벽부 낙수	아치부 낙수	동결위험
결함점수	1	2	1	2	3
해 설	1) 도심지 토사터널은 터널심도, 인접시설물(건축물, 철도, 도로 등)과의 거리 등을 검토·분석하고 터널에 영향을 미치는 범위를 고려하여 이를 반영한다. 2) 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. 3) 기타 일반적인 터널조건과 다른 특수터널인 경우, 조사자의 판단에 따라 상태평가에 특수조건을 부과하여 가점하도록 한다.				

나. 부대시설 상태평가 항목 및 기준

1) 균 열

구 분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
무근 콘크리트 라이닝	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 이상 0.3㎜ 미만	0.3㎜ 이상 1.0㎜ 미만	1.0㎜ 이상 3.0㎜ 미만	3.0㎜ 이상
철근 콘크리트 라이닝	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 이상 0.3㎜ 미만	0.3㎜ 이상 0.5㎜ 미만	0.5㎜ 이상 0.7㎜ 미만	0.7㎜ 이상
철근 콘크리트 구조물 (개착 구조물)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 이상 0.3㎜ 미만	0.3㎜ 이상 0.5㎜ 미만	0.5㎜ 이상 0.7㎜ 미만	0.7㎜ 이상

주) 진행성 균열의 경우 상태평가 결과가 "d" 이하 또는 고정 균열의 경우 면적율 20% 이상으로 'e' 이면 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

<해 설>

기본시설 균열 해설 참조

2) 누 수

기본시설 누수 참조

3) 파손 및 손상

구 분 \ 평가기준		a	b	c	d	e
콘크리트 라이닝	손 상 도	없 음	1/6 미만	1/6 이상 1/3 미만	1/3 이상 1/2 미만	1/2 이상
	손상면적	없 음	아주 경미한 상태	경미한 손상 (10㎝×10㎝미만)	중간 손상 (10㎝×10㎝이상, 30㎝×30㎝미만)	극심한 손상 (30㎝×30㎝이상)
조적식 라이닝	손상두께	없 음	벽돌부분 손상	벽돌 1개 이하	벽돌 1~2개	벽돌 2개 이상
해 설		기본시설 파손 및 손상의 해설 참조				

주) 파손 및 손상에 대한 면적율이 20%이상으로 상태평가 결과가 "d" 이하이면 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

4) 재질열화(박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리, 철근노출, 탄산화, 염화물)

기본시설 재질열화 참조

2.4.3 상태평가 결과 산정방법

가. 기본시설 상태평가 결과 산정

1) 제1단계 : 라이닝 결함지수(f) 산정

① 라이닝 단위길이별 평가항목에 대해 최저의 결함점수를 부여한다. 균열의 결함점수는 일반적으로 평균값으로 취하며 단차, 폭, 깊이 등을 고려하여 결정한다.

② 라이닝 단위길이별 결함지수를 구한다

③ 라이닝 전체에 대한 결함지수(f)를 구한다. 이때에 라이닝 단위길이별 평가 항목에 대한 결함점수를 산술평균하여 구한다.

2) 2단계 : 라이닝 상태평가 결과 산정

① 라이닝 단위길이별 평가항목과 결함지수에 대한 평가를 5단계(a, b, c, d, e)로 매긴다.

② 라이닝 전체의 평가항목(산술평균값)과 결함지수(f)에 대한 평가를 5단계 (a, b, c, d, e)로 매긴다.

3) 3단계 : 터널 주변 상태 결함점수 산정

① 터널 주변 상태에 대한 배수, 지반, 갱문, 공동구상태의 결함점수를 부여한다.

② 특수조건에 해당 될 경우에는 추가점수를 부여한다. 터널결함지수(F) 산정시 분모에 대한 영향은 고려하지 않는다.

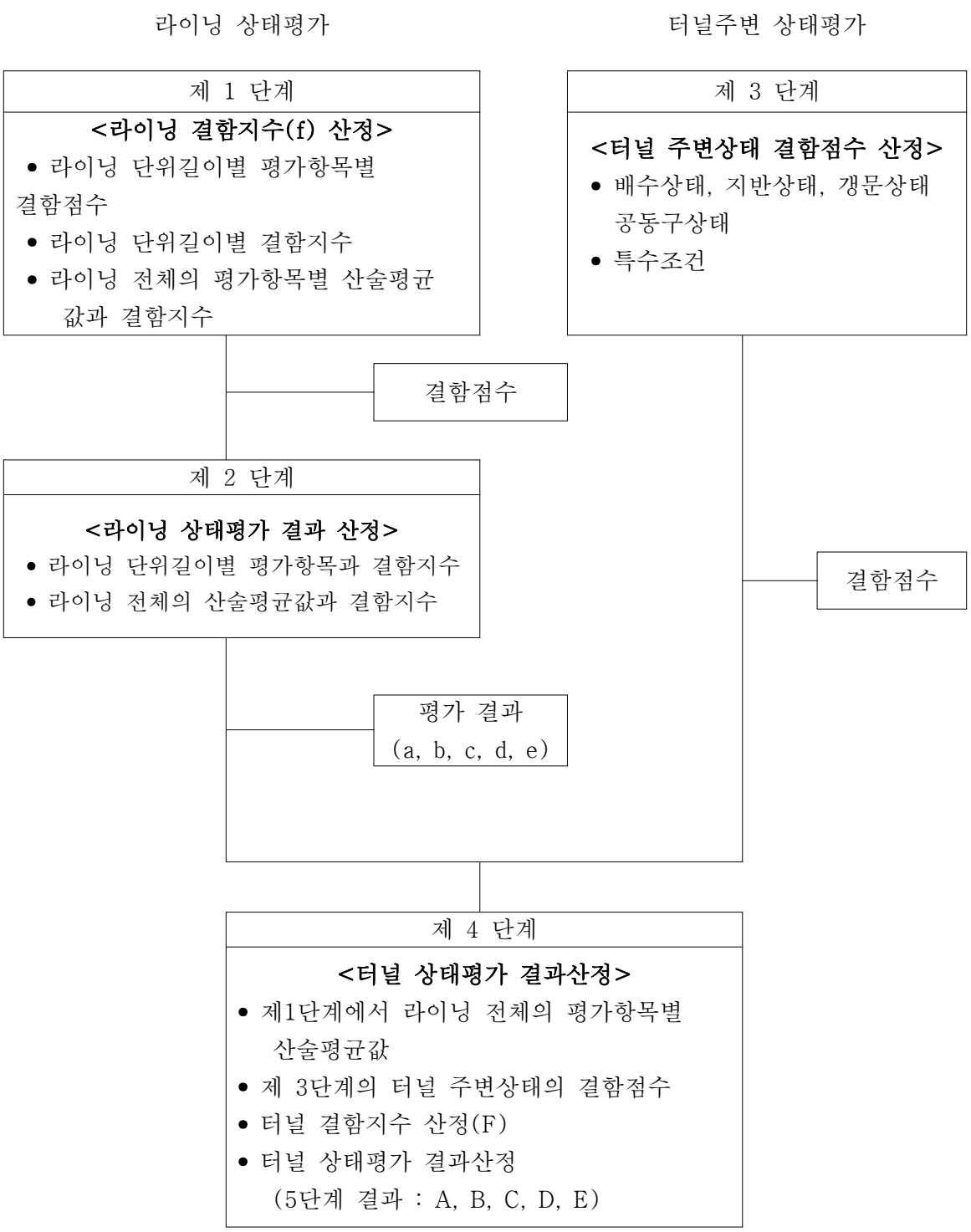
4) 제4단계 : 터널 상태평가 결과 산정

① 제1단계의 라이닝 결함지수(f) 산정시 사용한 평가항목별 결함점수 산술평균 값과 제3단계의 터널 주변상태 평가 결함점수를 합한다.

② 터널 결함지수(F)를 산정하고, 터널 상태평가 결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

③ 터널 상태평가 결과 산정

- A등급(우수) : 터널 결함지수(F) $0.00 \leq F < 0.15$
- B등급(양호) : 터널 결함지수(F) $0.15 \leq F < 0.30$
- C등급(보통) : 터널 결함지수(F) $0.30 \leq F < 0.55$
- D등급(미흡) : 터널 결함지수(F) $0.55 \leq F < 0.75$
- E등급(불량) : 터널 결함지수(F) $0.75 \leq F$



[그림 2.3] 상태평가 결과 산정절차

【해설】

한국시설안전공단에서 개발한 상태평가프로그램 이용하면 편리하게 상태평가를 할 수 있다. (홈페이지 : www.kistec.or.kr>기술정보>기술자료>상태평가)

나. 부대시설 상태평가 결과 산정

1) 제1단계 : 부대시설 결함지수(f) 산정

① 부대시설 평가단위별 평가항목에 대해 최저의 결함점수를 부여한다. 균열의 결함점수는 일반적으로 평균값으로 취하며 단차, 폭, 깊이 등을 고려하여 결정한다.

② 부대시설 평가단위별 결함지수를 구한다

③ 부대시설에 대한 결함지수(f)를 구한다. 이때에 부대시설 평가항목에 대한 결함점수를 산술평균하여 구한다.

2) 2단계 : 전체 부대시설 상태평가 결과 산정

① 부대시설별 평가항목과 결함지수에 대한 평가를 5단계(a, b, c, d, e)로 매긴다.

② 평가항목(산술평균값)과 결함지수(f)에 대한 평가를 5단계(a, b, c, d, e)로 매긴다.

③ 개별 부대시설을 각각 평가한 후 산술평균하여 부대시설 결함지수를 산정하고 전체 부대시설 상태평가 결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

부대시설의 결함지수(f) = $\sum(f_n)$ / N

여기서, f_n : 개별 부대시설의 상태평가 결함지수

N : 개별 부대시설의 개수

3) 3단계 : 전체 시설물 상태평가 결과 산정

① 기본시설 결함지수(F)에 부대시설 가중치(W)를 곱하여 전체 시설물의 결함지수(F)를 산정하고, 시설물 상태평가 결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

시설물의 결함지수(F) = 기본시설 결함지수(F) × 부대시설 가중치(W)

[표 2.18] 부대시설의 가중치

가중치(W)	1.00	1.00	1.02	1.05	1.10
부대시설 결함지수	0 ≦ f <0.15	0.15 ≦ f <0.30	0.30 ≦ f <0.55	0.55 ≦ f <0.75	0.75 ≦ f
시설물 상태평가	문제점이 없는 최상의 상태	기능수행에 영향이 없으나 일부 보수가 필요한 상태	부재의 손상이 있으나 기본시설 기능수행에 문제가 없는 상태	부재의 손상이 중대하여 기본시설에 영향을 주는 상태	기본시설의 기능수행에 문제를 일으켜 즉각적인 조치가 필요한 상태

다. 상태평가 결과 산정 예시

상태평가의 근거자료 확인을 위해 결함점수가 부여된 결함물량 집계표는 외관망도 또는 부록에 수록하여야 한다.

무근 콘크리트 라이닝의 터널 상태평가 결과 산정(예)는 단계별로 구분하여 예시하였다.

1) 제1단계 : 라이닝 결함지수 산정

SPAN No.	균열	파손 및 손상	누수	재 질 열 화			결함점수 합 계	라 이 닝 결함지수
				박리	층분리 및 박락	백태		
1	7	1	3	1	2	1	15	0.58
2	4	1	4	1	1	1	12	0.46
3	4	1	2	1	1	0	9	0.37
4	7	1	5	1	1	1	16	0.61
5	4	0	1	1	2	0	8	0.31
산술평균	5.2	0.8	3.0	1.0	1.4	0.6	12.0	0.46

① ‘SPAN No 1’의 평가항목에 대한 최저등급의 결함점수를(균열 c-7, 파손 및 손상 c-1, 누수 c-3, 박리 d-1, 층분리 및 박락 d-2, 백태 e-1) 부여한다. 라이닝의 결함점수 15점을 구한다.

② ‘SPAN No 1’의 라이닝의 결함지수를 구한다. 이때에 무근콘크리트 라이닝 결함지수(∑결함지수(15점)/26=0.58)를 구한다.

③ 상기 1) 2)와 같은 방법으로 나머지 SPAN에 대하여 구한다. 라이닝 5개 SPAN의 평가항목에 대한 산술평균값을 구한후 라이닝 결함지수를 구한다.

- 평가항목 결함점수 : 균열 5.2, 파손 및 손상 0.8, 누수 3.0, 박리 1.0, 층분리 및 박락 1.4, 백태 0.6, 결함점수 합계 12점
- 라이닝 결함지수(f) : 0.46(12/26=0.46)

2) 제2단계 : 라이닝 상태평가 결과 산정

SPAN No.	균열	손상	누수	재 질 열 화		
				박리	박락	백태
1	c	c	c	d	d	e
2	b	c	d	e	c	e
3	b	c	b	d	c	b
4	c	c	e	d	c	e
5	b	b	a	b	d	b

① 라이닝 스팬별 평가항목과 결함지수에 대한 등급을 5단계(소문자 a, b, c, d, e)로 매긴다.

② 라이닝 5개 스팬의 평가항목에 대한 산술평균값과 결함지수에 대한 등급을 5단계(소문자 a, b, c, d, e)로 매긴다.

3) 제3단계 : 터널 주변상태 결함점수 산정

항목	배수상태	지반상태	갱문상태	특수조건	합계
결함점수	1	2	1	1	5

① 배수상태가 오염되었므로 1점, 지반상태는 풍화변질 및 단층파쇄대가 영향범위 내에 위치하였으므로 2점, 갱문상태는 손상되어 있으므로 1점을 부여한다.

② 특수조건은 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험이 있으므로 1점을 부여한다.

4) 제4단계 : 터널상태평가 결과 산정

항목	라이닝						터널주변				합계
	균열	손상	누수	재질열화			배수상태	지반상태	갱문상태	특수조건	
				박리	박락	백태					
결함점수	5.2	0.8	3.0	1.0	1.4	0.6	1	2	1	1	17.0

결함지수	0.53
터널상태평가결과	C

① 제1단계의 라이닝 결함지수 산정시 사용한 평가항목별 결함점수 산술평균값과(결함점수 : 균열 5.2, 파손 및 손상 0.8, 누수 3.0, 박리 1.0점, 백태 0.6점, 합계12점), 터널주변 상태평가 결함점수(결함점수 : 1+2+1+1=5점)을 합하여 17점을 구한다.

② 터널 결함지수{결함지수(F) : ∑결함점수(17점)/32=0.53}를 구한 후 결함지수에 대한 5단계(A, B, C, D, E)등급 중 해당등급(C급)을 매긴다.

2.5 안전성평가 기준 및 방법

2.5.1 일반

가. 일반

터널의 안전성 평가는 외관조사 및 비파괴 현장시험에 의한 터널 부재별 상태평가를 분석하고, 필요시 지형 및 지질조사, 지반탐사(GPR 등), 누수탐사, 각종 계측 등의 실시결과를 고려하여 이론적 계산과 해석적 검증을 통하여 터널에 대한 안전성을 평가한다.

나. 안전성평가를 위한 과업

시설물의 안전성평가의 목적은 시설물이 제 기능 및 역할을 유지할 수 있는 구조적 및 운영상의 안전성 확보여부를 평가하는데 있으므로 현장조사부터 시설물의 현황과 상태 및 특성을 충분히 파악하여 제반 문제점을 도출하고 기초자료 분석 및 구조검토·해석 등에 의해 문제점에 대한 원인을 규명하고 안전성 여부를 판단하여야 한다.

안전성 평가를 위하여 기본과업 이외의 필요한 계측, 측정, 조사 및 시험 등의 선택과업을 시설물 종류 및 구조적 특성에 따라 책임기술자는 관리주체와 협의하여야 하며, 이를 위해서는 설계자료 검토, 시공방법과 사용재료의 검토, 기록을 통한 운영이력의 분석, 부재별 상태평가 결과 및 각종 계측·측정·조사·시험 등을 통하여 충분한 기초자료를 확보하는 것이 중요하며, 안전성평가 시 검토할 사항은 다음과 같다.

① 비파괴 시험결과 분석
② 지질조사 등의 결과 분석
③ 시설물의 변형/변위 및 거동 등의 측정결과 분석
④ 구조물의 구조검토·해석결과 분석
⑤ 기타 안전성평가를 위하여 필요한 사항

【해설】

점검 및 진단의 반복에 따라 검토할 자료는 D/B하여 관리하여야 하며 평가시 책임기술자에 판단에 따른 선별된 자료를 사용할 수 있다.

다. 안전성평가 방법

터널의 안전성 평가방법은 일반적으로 주변지반의 응력상태를 고려한 해석적 방법에 의해 이루어진다.

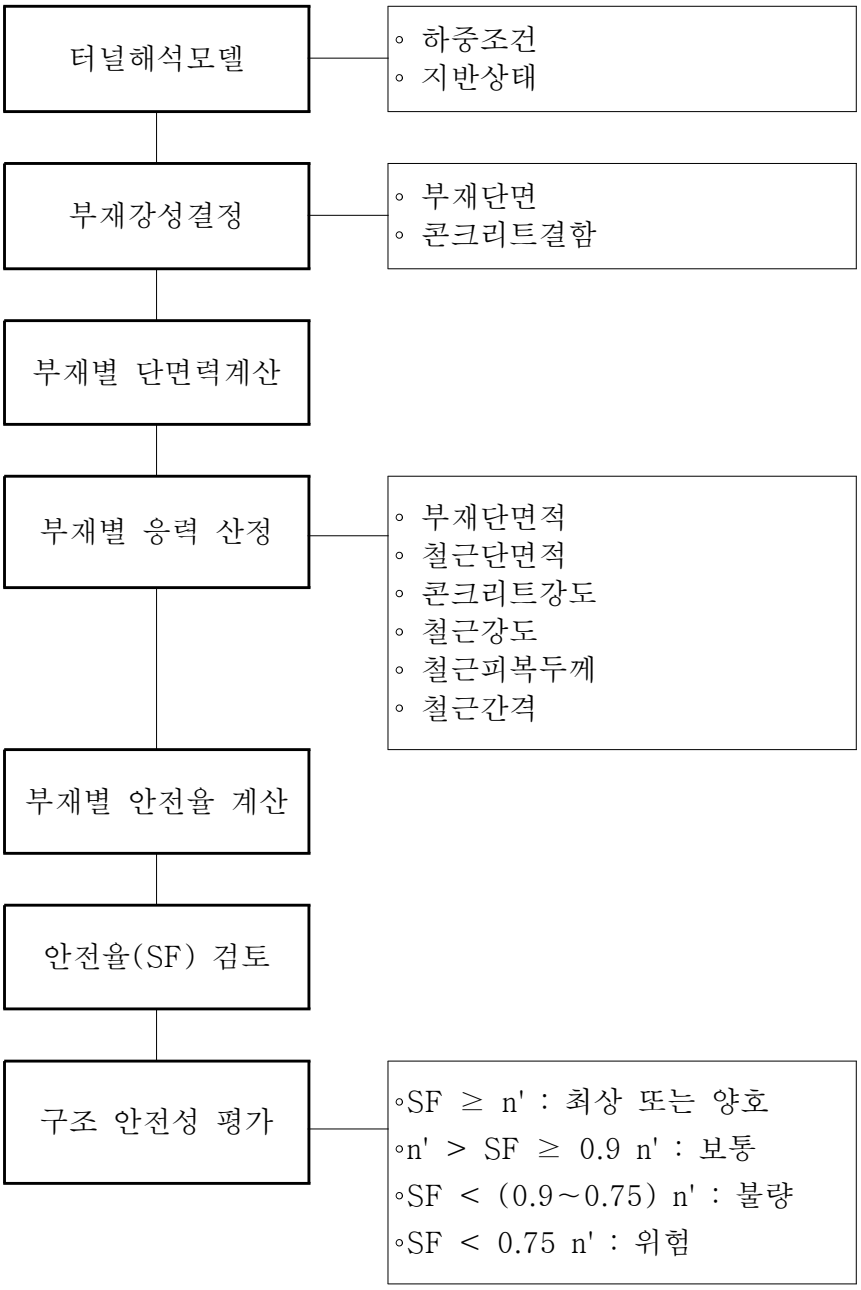
해석적 방법에 의해 구조물의 안전성을 평가하는 경우 현장조사 및 수집자료에 의해 얻어진 구조물의 치수, 시공상세도, 재료의 성질 및 구조물의 결함, 주변지반조건 등을 종합하여 실제 상태에 대한 해석을 통해 올바른 평가를 기대할 수 있으므로 관련 설계 및 안전에 관한 제반기준을 적용하고 공인된 신뢰도가 있는 해석방법에 의해 평가되어야 한다.

구조물의 해석 시 안전여유율이 고려되어 있으므로 현재상태의 구조물에 대한 구조해석 결과가 「콘크리트시방서」의 안전도 기준에 미흡하다고 해서 구조물이 불안전 하다는 것이 아니라 단지, 구조물의 안전여유율이 적다는 것을 의미한다.

따라서 구조해석에 의한 구조물의 안전성 평가는 현재상태의 구조물이 얼마나 안전여유율을 확보하고 있느냐의 정도를 평가하는 것이 합리적이라 할 수 있다.

즉, 구조해석 결과 안전여유율이 등가안전율(n') 이상인 경우는 안전성이 충분히 확보된 구조물로 평가하고 등가안전율 미만이나 안전여유율이 등가안전율의 약 75% 이상일 때는 안전성은 있지만 충분치 못한 상태로서 구조물의 상태를 주기적으로 점검 및 과대하중 재하억제 등의 관리가 필요한 상태로 평가하며, 안전여유율이 등가안전율의 약 75% 미만인 경우에는 사용제한여부의 판단이 요구되거나 사용금지를 요하는 안전성이 결여된 구조물이라고 평가할 수 있다.

구조물의 안전성평가 방법을 그림으로 도시하여 표현하면 [그림 2.3]과 같다.



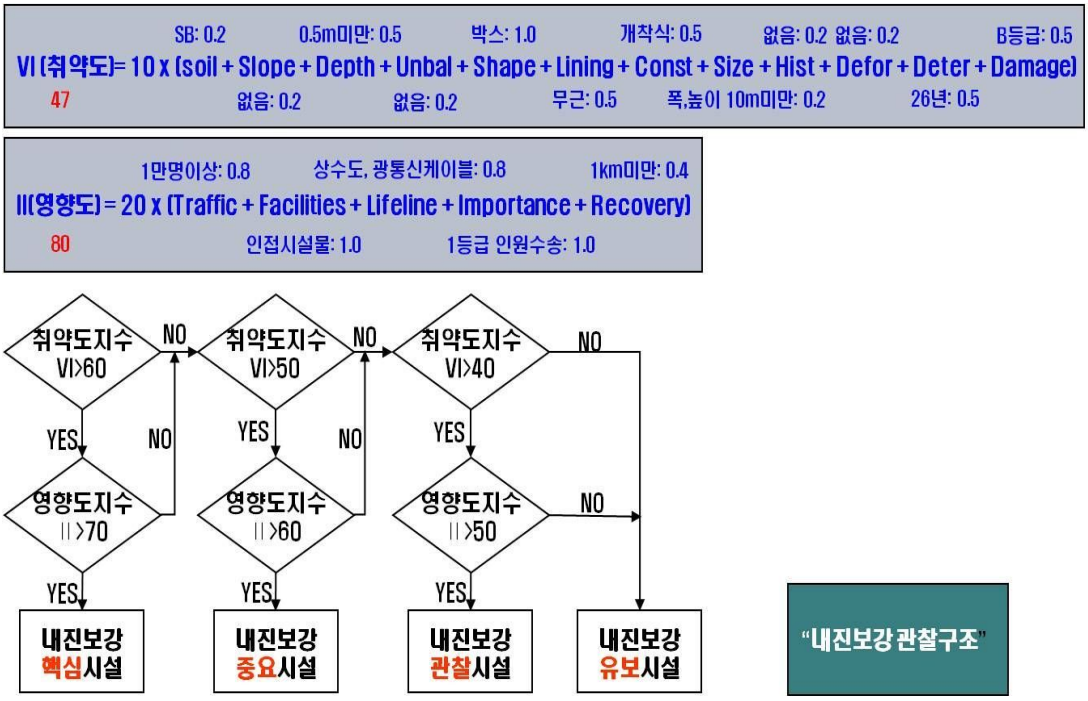
[그림 2.4] 안전성평가 결과 산정 방법

라. 내진성능 평가

내진성능 평가는 필요시에 실시하는 것으로 내진설계 성능기준 및 기타 연구결과[1)] 에서 해당 시설물의 내용을 참고하고 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 시설의 중요도에 따라 요구되는 내진성능을 기능수행기준과 붕괴방지 수준으로 구분하여 만족시키도록 규정하고 있다.

【해설】

1. 터널의 내진성능평가 및 향상요령은 참고문헌을 참고하며 평가과정 중에 다음과 같은 예비평가 및 추가적인 상세평가를 관리주체와 협의하여 설계변경 후 실시 할 수 있다.



[해설 그림 2.5.1] 내진성능평가 흐름예

1) 기존 시설물의 내진성능 평가 및 향상요령(2004.05) : 국토해양부, 한국시설안전공단

2.5.2 안전성평가 기준

정밀점검(필요시)이나 정밀안전진단 시에는 안전성평가 결과를 산정한다.

정밀점검의 경우에는 라이닝 상태평가 시 터널안전성에 직접 관련된 주요 구조 부재의 손상항목이 D급 이하로 판정되거나 혹은 전문가에 의해 안전성평가 요구가 있을 경우 원인분석을 위한 구조검토 결과에 따라 안전성평가 결과를 산정한다.

터널은 대부분 지표면 아래에 축조되는 구조물로서 지하수의 부력, 지반의 부등침하 및 누수에 의한 지반함몰 등의 영향을 받는다.

따라서 터널의 설계·준공도서 및 기존의 안전점검 또는 정밀안전진단 보고서 등을 검토하여 구조물의 안전성을 판단하거나 실제 주요부재의 상태평가 결과가 불량하게 나타나 현장조사 시 문제점이 발생한 부위를 대상으로 안전율(Safety factor, SF) 검토를 수행하여 구조물의 안전성을 판단하는 것이 필요하다.

국내에서의 구조물 안전성평가는 평가대상 항목의 안전율을 이용하여 수행하고 있으며, 안전율 검토는 허용응력설계법(부재의 발생응력과 허용응력의 비)이나 강도설계법(부재의 소요강도와 설계강도의 비)에 따라 구조물의 각 부재에 작용하는 외력에 의한 응력을 산정하여 이루어지고 있다.

일반적으로 터널은 지반과의 상호작용을 바탕으로 구조적 거동이 이루어지므로 구조해석에 필요한 경계조건, 지반상수 등은 설계·준공도서 또는 지반조사에 의해 얻거나 구조물의 설계기준 등에 나와 있는 값을 참고로 하여 구한다.

상기와 같은 내용을 근간으로 검토한 휨, 전단, 압축 등의 구조적 최저 안전율 정도에 따라 구조물의 안전성에 대한 평가기준을 설정하면 다음 [표 2.19]와 같다.

[표 2.19] 시설물의 안전성평가 기준

기준	내 용
A	안전율(SF)이 1.0 이상이고 주부재에 손상이 없는 경우
B	안전율(SF)이 1.0 이상이고 주부재에 손상(단면손실)이 있는 경우
C	안전율(SF)이 1.0 미만~0.9이상
D	안전율(SF)이 0.9 미만~0.75이상
E	안전율(SF)이 0.75 미만

- 안전성평가 결과의 산정은 가급적 상태평가 기준과 균형을 맞추도록 등급 분류체계를 구성하여 설계가 적절하게 된 신설터널에서 B등급이 나오는 모순을 없애기 위하여 안전하게 설계된 경우는 A등급으로 평가되도록 하였다.
- 보수·보강 혹은 사용제한 등 검토가 필요한 D, E등급 안전율 개념을 이용하였다.

【해설】

1. 개착터널의 경우, 라이닝에 고려되는 지반스프링에 따른 산정된 부재력 변화가 커 세심한 기술적 판단에 근거하여 사용하며 결과 분석 시 이러한 조건변화를 사전에 고려해야한다.

2. 굴착터널의 경우, 지반해석의 경우 안전율의 값이 과도하게 크게 산정되는 경우 '안전'으로 표기하여 탄성론의 이론해에 준하는 결과와 비교하여 설명할 수 있다.

2.5.3 안전성평가 결과 산정 방법

가. 안전성평가 결과 산정

1) 개착터널(cut and cover : BOX, 지하차도), Shield 터널

구조물의 해석방법에는 강도설계법과 허용응력설계법이 있으며 이 중 강도설계법을 원칙으로 하지만 특별한 경우에는 허용응력설계법을 적용할 수 있다.

강도설계법에서는 구조물의 안전여유를 두 가지 측면에서 고려하는데 하나는 하중의 변경, 구조해석 시의 가정과 계산을 간단하게 함으로써 야기될지 모르는 초과하중의 영향을 고려한 하중계수이며, 다른 하나는 설계계산상의 불확실성, 부재의 다양한 형식에 대한 상대적 중요도, 재료의 설계강도 및 실제단면치수와 제작 시공기술 등에 관련된 다소의 불리한 오차들이 개별적으로는 허용한계에 있더라도 총체적으로 결합 시 부재의 강도감소를 초래할 가능성에 대비한 강도감소계수이다.

이러한 하중계수와 강도감소계수에 의한 설계상의 구조물 안전여유율을 등가안전율이라 하며 다음 식으로 표현된다. 이의 값은 활하중/고정하중의 비(L/D)와 휨부재 혹은 전단부재의 여부에 따라 차이를 갖는데 휨응력에 대해서는 약 1.5～2.0이고, 전단응력에 대해서는 1.7～2.5정도의 값을 갖는다.

$$n' = \frac{\gamma_D + \gamma_L L/D}{\Phi(1 + L/D)}$$

여기서, n' : 등가안전율

γ_D : 고정하중계수

γ_L : 활하중계수

L/D : 활하중과 고정하중의 비

Φ : 강도감소계수

일반적으로 설계개념의 안전율을 도입하는 개착터널(cut and cover), Shield 터널 등은 안전율 산정이 가능하므로 [표 2.19]와 같은 방법으로 안전성 평가결과를 산정한다.

① 안전성평가는 일반적으로 수치해석을 통한 부재의 응력크기로 평가

② 안전율 SF=1 이상인 경우 : A등급으로 표현

③ 안전율 SF=1 이상이거나 같은 경우로서 손상이 있는 경우 : B등급으로 표현

④ 안전율 SF=1보다 작은 경우 : C, D, E등급으로 표현

- C급 : 0.90 ≤ SF < 1.0
- D급 : 0.75 ≤ SF < 0.90
- E급 : SF < 0.75

여기서, 강도설계법 안전율 : SF $= \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\varnothing Mn}{Mu}$

허용응력설계법 안전율 : SF $= \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_a + f_l}$

2) 굴착터널(Mined Tunnel : 재래식, NATM 터널)

굴착터널에 대한 안전성 평가는 설계개념의 안전율을 도입했을 경우에는 안전율 산정이 가능하므로 [표 2.19]와 같은 방법으로 안전성평가 결과를 산정한다. 그러나 설계개념의 안전율을 도입하지 않은 경우에는 터널상태평가 시 지반상태와 라이닝 변상 등이 기 반영하였고, 안전성평가를 정량화하여 A, B, C, D, E 등급으로 분류하기가 곤란하므로 안전, 불안전 여부만을 평가할 수 있다.

○ 일반적으로 터널은 지반조건이 서로 다르기 때문에 대표단면 선정의 타당성, 지반정수의 정확성, 단층 및 절리 등의 불연속면 특성의 포함여부, 해석방법 등에 따라 안전성평가 결과가 좌우되고

○ 산악터널과 도심지 터널의 주변지반조사의 어려움으로 인해 지반정수의 가정을 통한 터널해석에는 많은 오차를 포함하고 있으며

○ 설계개념의 안전율을 도입하지 않은 경우 터널해석은 각종 변상과 변위에 따라 수치해석 및 역해석을 실시하여 보수·보강 범위를 산정하고 있으므로 안전성평가를 정량화하여 A, B, C, D, E 등급으로 분류하기가 곤란하여 반영하지 않고 안전, 불안전 여부만을 평가할 수 있다.

다만, 터널의 수치해석에 의한 안전성평가 시에는 수치해석에 필요한 지반정수가 지반조사에 의하여 획득될 경우 터널의 라이닝에 작용하는 하중조건과 터널라이닝의 변상상태를 역해석적 방법이나 일반적인 라이닝 구조해석 방법으로 터널의 안전성을 제시할 수 있다.

이런 경우 콘크리트 라이닝의 강도특성과 지반특성을 수치해석에 반영하여 터널라이닝의 설계기준강도와 대비하여 안전율을 판단하여 안전성여부를 평가하는데 참고자료로 활용한다.

나. 안전성평가 결과 산정 방법

1) 안전율을 도입한 경우의 방법

개착터널(cut and cover)과 굴착터널(Mined Tunnel)중 설계당시 안전율을 도입한 경우에는 안전성평가 결과 산정 방법을 다음과 같이 예시 하였다.

[표 2.20] 터널의 안전성평가 결과 산정(개착터널) 예

시설물 안전성평가 결과 산정표				
시설물명	○○○ 터널		표번호	TS. NO.3
부재구분	안전율(SF)	평가결과	비 고	
상부슬래브(횡방향) 휨모멘트	1.08	a		
상부슬래브(종방향) 휨모멘트	0.92	c		
상부슬래브 전단력	1.03	b	손상(단면감소)발생	
안전성평가 결과	◦ 최저 안전성평가 결과 = C			

[표 2.21] 터널의 안전성평가 결과 산정(ASSM 터널) 예

시설물 안전성평가 결과 산정표				
시설물명	○○○ 터널		표번호	TS. NO.4
부재구분	안전율(SF)	평가결과	비 고	
콘크리트라이닝 전단응력	2.5	a		
콘크리트라이닝 압축응력	1.8	a		
안전성평가 결과	◦ 최저 안전성평가 결과 = A			

2) 안전율을 도입하지 않을 경우의 방법

안전율을 도입하지 않은 경우 수치해석에 의한 안전성평가 방법은 다음과 같다.

[표 2.22] 터널의 안전성평가 결과 산정(NATM터널) 예

시설물 안전성평가 결과 산정표			
시설물명	○○○ 터널	표번호	TS. NO.5
부재구분	변위 또는 응력	안전성 여부 (안전, 불안전)	비 고
○ 변위발생경향	(단위 : mm)		- 정성적표현
- 천단변위	0.78	안전	
- 내공변위	2.89	안전	
○ 응력발생경향	(단위 : kgf/cm^2)		- 정성적표현
- 휨압축응력	12 kgf/cm^2	안전	
- 전단응력	5.19 kgf/cm^2	안전	
안전성평가 결과	○ 안전성 평가결과 : 안전 ※ 일반터널(Mined Tunnel)에서 안전성평가를 정량적으로 표시할 수 없는 경우는 정성적으로 표시함.		

2.6 종합평가 기준 및 방법

2.6.1 종합평가 기준

시설물의 종합평가는 상태평가만 실시한 경우에는 상태평가결과에 의해 부여된 상태평가등급이 그 시설물에 대한 종합평가등급으로 결정되지만 상태평가와 안전성평가를 동시에 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 상태평가결과와 안전성평가결과를 비교하여 최저평가결과를 종합평가 결과로 결정한다.

2.6.2 종합평가 결과 산정 방법

가. 종합평가 산정 절차

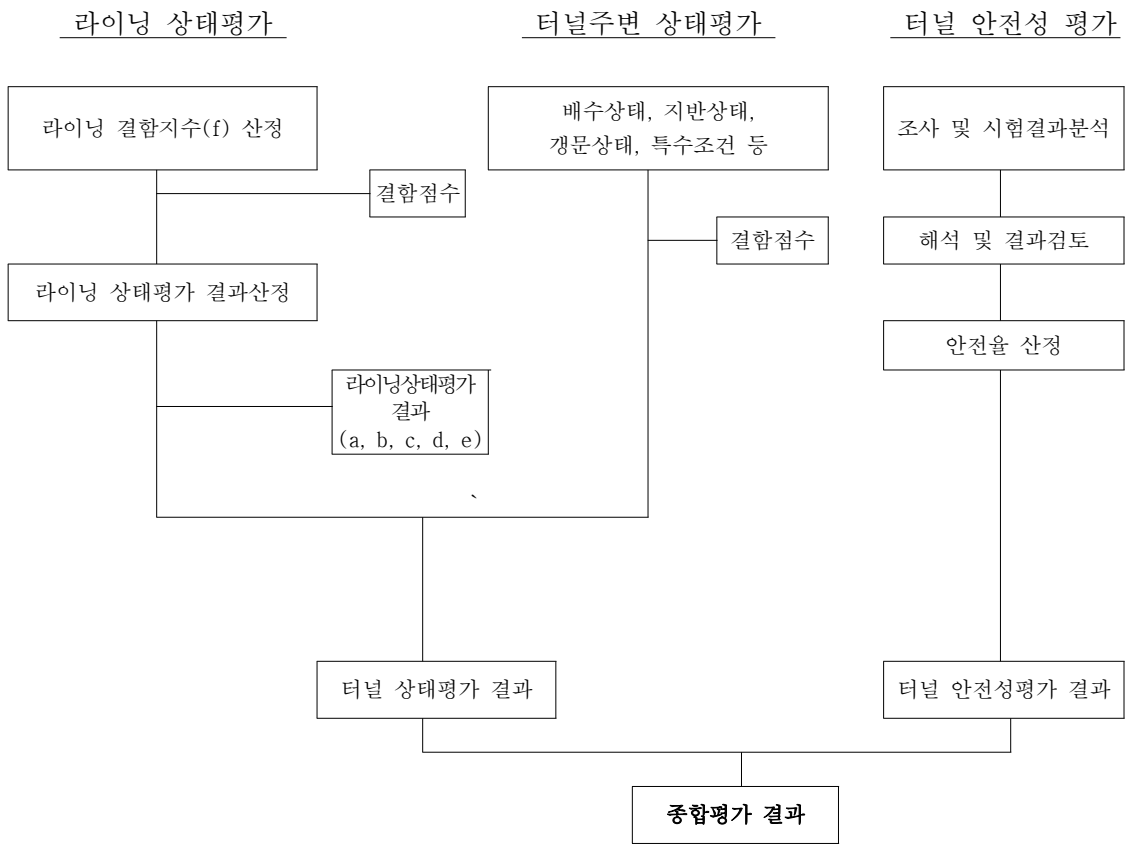
터널 상태평가와 안전성평가 결과 2개 등급 중 최저등급을 터널 종합평가 결과로 하여야 하고 [그림 2.4]의 절차에 따라 결정한다.

1) 정밀점검

터널 라이닝 상태평가와 터널 주변상태평가(필요시)를 종합하여 터널 상태평가 결과를 결정하며, 터널 안전성평가를 시행한 경우에는 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 비교하여 최저등급을 터널 종합평가 결과로 결정한다.

2) 정밀안전진단

터널 상태평가 결과(라이닝 상태평가+터널주변 상태평가)와 안전성평가 결과 중 최저 등급을 터널 종합평가 결과로 결정한다.



[그림 2.4] 시설물의 종합평가 결과 산정절차

나. 종합평가 결과 산정 방법

터널에는 분야별로 크게 개착터널(cut and cover), 굴착터널(Mined Tunnel)로 분류하여 설계당시 안전율을 도입한 경우의 종합평가 결과 산정 방법과 안전율을 도입하지 않은 경우 종합평가 방법 등은 다음과 같다.

[표 2.23] 터널의 종합평가 결과 산정(개착터널) 예

시설물 종합평가 결과 산정표				
시설물명	○○○ 터널		표번호	TS. NO.6
평가구분	터널결함지수	평가결과	비 고	
상태평가	F=0.51	C	근거 표번호	
안전성평가	-	A	근거 표번호	
종합평가	-	C		
종합평가 결과	○ 개착터널에서는 안전성평가를 정량적으로 표시할 수 있으므로 안전성평가 결과를 표시함. ○ 터널의 종합평가 결과 : C			

[표 2.24] 터널의 종합평가 결과 산정(ASSM터널) 예

시설물 종합평가 결과 산정표				
시설물명	○○○ 터널		표번호	TS. NO.7
평가구분	터널결함지수	평가결과	비 고	
상태평가	F=0.45	C	근거 표번호	
안전성평가	-	A	근거 표번호	
종합평가	-	C		
종합평가 결과	○ 일반터널에서 안전성평가를 정량적으로 표시할수 있는 경우는 등급으로 표시함. ○ 터널의 종합평가 결과 : C			

[표 2.25] 터널의 종합평가 결과 산정(NATM터널) 예

시설물 종합평가 결과 산정표				
시설물명	○○○ 터널		표번호	TS. NO.8
평가구분	터널결함지수	평가결과	비 고	
상태평가	F=0.65	D	근거 표번호	
안전성평가	-	안정	근거 표번호	
종합평가	-	D		
종합평가 결과	○ 일반터널에서 안전성평가를 정량적으로 표시할수 없는 경우는 정성적으로 표시함. ○ 터널의 종합평가 결과 : D			

2.7 보수·보강 방법

터널 시설물의 주요 보수·보강 방법을 소개하면 다음과 같다.

【해설】

일반적인 콘크리트표준시방서 및 해당 설계기준 등을 참고로 하여 보수·보강의 필요성 여부를 판단한다. 구조물 결함에 따른 보수·보강은 보수재료와 공법 선정 시 공법의 적용성, 구조적 안전성, 경제성 등을 검토하여 결정한다.
이 때 중요한 것은 구조물의 결함발생 원인에 대한 정확한 분석이며, 이를 통해 적절한 공법을 선정할 수 있고, 또한 적절한 보수재료를 선택할 수 있다. 따라서 시설물관련 제반자료, 안전점검 및 정밀안전진단 시 수행한 각종 상태평가 및 안전성 평가 결과를 기초로 하여, 결함발생 원인에 대한 정확한 분석 후 결함부위 또는 부재에 가장 적합한 보수·보강공법을 선정하여야 한다.

2.7.1 배면공동 보수

라이닝 배면공동은 원지반의 결함이나 시공 결함 등에 의한 공동과 준공 후 누수 등에 의한 공동으로 구분되며, 이러한 공동은 비파괴시험 등에 의해 조사하고 터널 시설물의 안전이 유지되도록 공동부분을 채워 작용압력을 균일화시킴으로써 라이닝의 내하력을 유효하게 작용할 수 있게 한다.

라이닝 배면 충전시 배수터널의 경우 배수로 기능저하 및 막힘현상에 대하여 충분히 고려하여야 한다. 이 방법에는 모르터 주입 등에 의하여 충전하는 공법이 있다.

2.7.2 라이닝 보강

1) 지보공에 의한 보강

라이닝 콘크리트의 노후화가 심하거나 균열의 정도가 현저한 경우 사용하는 대책공법으로 강지보공 록볼트 등 지보공에 의해 보강하는 방법이다.

2) 라이닝 콘크리트 내부 두께 보강에 의한 보수

내공단면에 여유가 있는 경우, 손상상태, 시공조건 등에 따라 철근 콘크리트 또는 뿜어붙임 콘크리트로 시공한다. 내부 두께 보강은 라이닝 콘크리트의 강도증가 대책으로서 재료의 품질약화에 대한 대책으로는 적당하나 누수 등 다른 요인이 복합적으로 작용할 때는 이 요인을 제거 혹은 경감하는 대책을 병용한다.

3) 인버트 설치

주위 지형이 팽창성 지질, 지내력이 부족한 경우 등은 측압에 견디도록 또는 지지력을 분산시켜 부풀음을 방지하기 위하여 인버트를 설치한다.

4) 라이닝 콘크리트 교체

라이닝의 노후화 및 균열로 기능상실, 내공단면에 내부두께 보강을 할 수 있는 여유가 없을 때 부분적 또는 전체적으로 라이닝을 교체한다.

5) 성토 및 절취 등

지형적인 원인 혹은 사면활동 등 지표의 거동으로 터널에 이상을 주는 경우에는 성토 및 절취, 지반보강공, 활동억지공, 배수공 등 다양한 대책공법을 고려한다.

2.7.3 백태

노후화된 콘크리트 표면에 생기는 백색의 결정으로 콘크리트중의 황산칼슘, 황산마그네슘, 수산화 칼슘 등이 물에 녹아 침출되어 공기중의 탄산가스와 화합한 것이다. 이 현상은 모세관 공극을 감소하도록 물-시멘트비와 단위수량을 작게하면 억제가 가능하다. 즉, 수밀성이 약한 콘크리트나 모르터에 물이 새어나면서 탄산칼슘이 표면에 퇴적하여 나타나는 현상이다. 탄산칼슘은 시멘트 경화체와 대기나 물 속의 이산화탄소로 형성된다.

그 대책으로는 누수대책 등으로 콘크리트를 완전히 건조시킨후 백태를 제거하고 폴리머 모르터 등으로 마감한다. 백태의 제거방법은 희석한 염산(1:5~1:10)으로 처리하거나 모래방사에 의해 제거하도록 한다. 인산으로 처리할 때는 처리 후에 잔류인산을 물로 완전히 씻어내며 직사광선을 피하고 바람이 없는 날에 작업을 한다.

2.7.4 동해

동해대책공은 누수대책공, 단열공법, 가열공법 등으로 터널의 환경조건에 따라 효율성, 내구성 및 경제성을 고려하여 적절한 대책공을 선정한다.
동해 대책공의 목적으로는
1) 동결융해에 의한 라이닝 재료의 열화방지
2) 배면지반의 동상압에 의한 터널의 변상방지
3) 고드름・측빙・빙판의 발생에 의한 차량운행에 유해한 영향 방지
4) 터널내 작업의 안전성 확보
5) 고드름 제거 등 보수작업의 용이성 확보 등이 있다.

2.7.5 누수

누수대책공은 도수공법, 홈파기공법, 지수공법, 뿜어붙임 및 도포공법, 방수판, 방수쉬트, 배면주입공법, 수위저하공법 등이 있다.
대책공의 목적으로는 누수에 의한 터널의 기능, 갱내설비의 기능, 안전운전, 갱내작업 환경의 개선 등이며, 누수의 발생 상황을 정확히 조사하여 대책공의 효과, 시공성, 경제성 및 내구성을 고려하여 안전하게 시행할 수 있어야 한다.
누수에 대한 대책공은 [표 2.26]와 같다.

[표 2.26] 누수에 대한 대책

요인 / 분류	누수상태	선상				면상				비고
	누수량	소량		다량		소량		다량		
	내공단면여유	유	무	유	무	유	무	유	무	
선상 대책 공법	도수공법	○	–	○	–	△	–	△	–	
	홈파기공법	–	○	○	○	–	○	–	○	• U, V 커트 공 • 면상대책공법의 전처리로서도 시행
	지수공법	△	△	–	–	–	–	–	–	• 누수량이 물방울 형성 정도이고 범위가 한정되는 경우 적용 가능
면상 대책 공법	뿜어붙임공법	–	–	–	–	○	–	○	–	• 철망, 앵커 및 도수공의 병용 필요
	도포공법	–	–	–	–	△	△	–	–	• 누수 정도가 경미할 때에만 적용
	방수판	–	–	–	–	–	–	○	–	
	방수시트	–	–	–	–	○	–	○	–	• 내부라이닝 개축 등을 행할 경우
배면주입공법		–	–	○	○	–	–	○	○	• 토피가 작고 지표수와 우수가 터널 배면공동을 통하여 직접 터널내로 유입하는 경우
수위저하공법		–	–	○	○	–	–	○	○	• 지하수위가 높은 상태에서 용수나 열차 하중의 반복하중에 의한 지반재료의 배출

주) ○ : 적용 가능한 공법 △ : 경우에 따라 적용할 수 있는 공법

2.7.6 라이닝의 재료열화

터널 라이닝의 재료열화 현상은 시간의 경과에 따른 노후화로 인식되고 있지만 누수와 관련된 것이 많고 그 밖의 유해수, 동해, 염해 등의 외적 요인이 작용하는 경우도 있다. 또한 내적요인으로는 콘크리트의 시멘트량이 부족한 경우, 간혹 나타나는 골재의 알카리골재반응, 황산이온 영향 등 여러요인에 의하여 재료열화 현상이 나타난다.
라이닝의 재료열화 조사는 어느 요인으로 그리고 어느 범위까지 노후화 됐는지를 정확히 조사하여 적절한 대책공법을 선택할 수 있어야 하므로 매우 중요하다.
일반적인 라이닝의 재료열화 현상별 원인과 대책은 [표 2.27]. [표 2.28]과 같다.

[표 2.27] 재료열화 현상별 원인과 대책

노후화 현상	원인	구 분	영 향 인 자	억 제 대 책
철근 부식	염 해	내적요인	콘크리트 내부 허용 Cl^-량 초과	해사세척에 의한 Cl^- 제거
		외적요인	제설제 살포 또는 해안환경에 의한 염화물 침입	표면을 기밀성 도료로 도장
	탄산화	내적요인	콘크리트 W/C, 공극이 큼	적정의 W/C 선정
		외적요인	대기의 CO_2 농도증가로 탄산화가 철근 깊이까지 도달	기밀성 도료로 표면 도장
균열 박리	알칼리 골재반응	내적요인	알칼리 반응성 골재를 사용할 때 시멘트 중의 K_2O가 다량 함유	반응성 골재의 사용제한 저 알칼리성 시멘트를 사용
		외적요인	콘크리트가 습윤상태에 있음.	콘크리트를 건조상태로 보존,수밀성 도장
	건조수축	내적요인	단위수량이 높음	단위수량이 적은 무수축시멘트 사용 초기양생을 충분히 실시
		외적요인	콘크리트의 건조속도가 빠름	

[표 2.28] 콘크리트 라이닝의 보수·보강 공법 선정표

○ : 적용가능공법

△ : 응급조치 또는 타공법과 병용필요 공법

위치	공법 / 열화상황		표면청소	깨어내기	보강판	철망공	라이닝		보강새들	개축	탄소섬유보강공	비 고
							뿜어붙임 콘크리트	현장타설				
아치부	국부적	소	△	○	○	○					○	
		대	△	○	△	△	○	○	△	○	○	
	광범위	소	△	○	△	△	○	○	△	○	○	
		대	△	△	△	△	○	○	△	○	△	
측벽부	국부적	소	△	○							○	
		대	△	○						○		
	광범위	소	△	○			○	○			○	
		대	△	△			○	○	△	○		
표면의 오염			○									
비 고			(주2)	(주2)	(주3)	(주3)	(주5)	(주4)	(주4)	(주6)	(주5)	

주) 1. ·노후화범위 구분 : – 국 부 적 : 노후화 범위 10㎡ 미만
– 광 범 위 : 노후화 범위 10㎡ 이상
·노후화상황 구분 : – 아치부 대 : 낙하물 크기가 벽돌 정도 이상
– 아치부 소 :낙하물 크기가 벽돌 정도 미만
– 측벽부 대 : 노후화 깊이 10cm 정도 이상
– 측벽부 소 : 노후화 깊이 10cm 정도 미만

주) 2. △ : 다른 보수 공법의 전 처리로 시행

주) 3. 새들, 내부 라이닝 등의 내공여유가 없는 경우에도 적용

주) 4. 라이닝 내력 증가 필요, 내공단면 여유 있는 경우

주) 5. 라이닝 내력 증가 필요, 내공단면 여유없는 경우

주) 6. 노후화 정도가 라이닝 두께 1/2 이상인 경우

2.7.7 진동 및 소음에 따른 영향

구조물 주위에서 발생한 진동 및 소음에 대하여 외국의 기준을 각각 예시하면 [표 2.29]와 같다. 이러한 기준을 토대로 터널 내부의 조건을 살펴보도록 한다.

[표 2.29] 지반조건에 따른 일반주택의 피해 정도와 진동속도와의 관계(Langefors)

지반조건 / 진동범위	지하수면 이하의 점토, 모래, 자갈	퇴석(Moraine) 슬레이트(Slate) 연약한 석회석	강한 석회석, 화강암, 석영질 사암, 편마암, 현무암	피 해 정 도
종파의 전달속도 (m/sec)	300 ~ 1,500	2,000 ~ 3,000	4,500 ~ 6,000	
진동속도 (cm/sec)	0.4 ~ 1.8	3.5 이하	7.0 이하	피해 없음
	0.6 ~ 3.0	5.5	11.0	무시할 수 있는 피해
	0.8 ~ 4.0	8.0	16.0	균열 생성
	1.2 ~ 6.0	11.5 이상	23.0 이상	상당한 피해 발생

또, 생활소음 규제 기준은 그 범위가 [표 2.30]과 같다.

[표 2.30] 생활소음 규제기준의 범위 단위 : dB(A)

대 상 지 역	시 간 별 / 대 상 소 음		조 석 (05:00~08:00) (18:00~22:00)	주 간 (08:00~18:00)	심 야 (22:00~05:00)
주거지역, 녹지지역, 취락지역 중 주거지역, 관광휴양지역, 자연환경 보존지역, 학교·병원의 부지 경계선으로부터 50m이내 지역	확성기에 의한 소음	옥외설치	70 이하	80 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 방사되는 경우	50 이하	55 이하	45 이하
	공장 및 사업장의 소음		50 이하	55 이하	45 이하
	공사장의 소음		65 이하	70 이하	55 이하
상업지역, 준공업지역, 일반공업지역, 취락지역 중 주거지구 외의 지구	확성기에 의한 소음	옥외설치	70 이하	80 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 방사되는 경우	60 이하	65 이하	55 이하
	공장 및 사업장의 소음		60 이하	65 이하	55 이하
	공사장의 소음		75 이하	75 이하	55 이하

※ NOTE : 1) 대상지역의 구분은 국토관리 이용법에 의하며, 도시지역은 도시계획법에 의한다.
2) 공사장 소음의 규제기준은 주간의 경우 소음발생 시간이 1일 2시간 미만일 때에는 +10dB, 2시간 이상 4시간 이하일 때에는 +5dB를 보정한 값으로 한다.

우리나라에서는 지하철 공사측에서 제시한 [표 2.31]과 같은 발파진동의 피해범위가 일반적으로 사용되고 있는데 외국기준과 비교하면 보수적인(conservative) 것으로 알려져 있다.

[표 2.31] 국내에서 적용되는 진동허용치

구 분	문화재 등 진동예민 구조물	조적식(벽돌, 석재 등)벽체와 목재로 된 천장을 가진 구조물	지하기초와 콘크리트 슬래브를 갖는 조적식 건물	철근콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 중소형 건축물	철근콘크리트, 철근골조 및 슬래브를 갖는 고층아파트 이상의 대형 건축물
허용입자속도 (cm/sec)	0.3	1.0	2.0	3.0	5.0

이러한 결과를 토대로 터널의 안전진단시에는 인접건물이나 본 터널부에 대하여 진동, 소음측정기를 사용하고 상기 기준을 참고하여 검토한다.

2.7.8 터널에 근접한 구조물 시공 시 영향

터널 인접부위 구조물 시공에 의한 터널의 손상은 기설 터널에 인접하여 행해지므로 터널 주변의 응력 균형이 흐트러져 생기는 것을 말한다.

[표 2.32] 근접시공의 예

구 분	내 용
터널의 병설	○ 기존터널과 병행해서 별도의 터널 건설 ○ 선로증설 공사시 많음
터널의 교차	○ 기존터널 상부 또는 하부에 별도의 터널이 횡단 ○ 터널상부에 택지개발 등으로 개착하는 경우
터널상부의 개착	○ 터널상부에 택지개발 등으로 성토하는 경우
터널상부의 구조물 기초	○ 터널상부에 건물 등이 세워져 그 기초가 터널의 상부,측면에 시공되는 경우
지반진동	○ 터널 주변의 근접공사로 인한 지반진동(발파진동 등)
지하수위 변동	○ 터널 주변공사(댐 등)에 의하여 지하수위가 상승하여 라이닝부에 수압이 작용하는 경우

(터널補强·補修매뉴얼, (財)鐵道總合技術硏究所, 1990, p Ⅱ-42)

구체적인 손상현상이 보이지 않더라도 터널구조상 배면공동 상존, 라이닝 두께 부족, 인버트가 없는 터널 등의 경우 터널에 영향을 미칠 수 있다.
기존 터널 대책과 기존터널에 인접 하여 구조물 시공을 하는 경우의 대책으로 구분할 수 있으며, 사전에 토질조사 및 시험결과를 토대로 공법을 선정한다.
근접시공 대책은 [표 2.33]과 같다.

[표 2.33] 근접시공 대책

구 분	대 책	
기존터널 인접하여 구조물 시공	○ 원지반을 진동하지 않는 공법 적용 ○ 발파진동 경감공법 적용 ○ 터널에 균등한 하중이 증가되도록 성토 ○ 터널에 균등한 하중이 증가되도록 개착	
기존터널과 인접공사시의 중간지반의 대책	○ 연속지중벽 ○ 지반개량(약액 주입)	
기존터널의 대책	기존터널의 라이닝에 균열 등이 발생	○ 받침판 ○ 단면보강 ○ 철망, 그물
	구조물 손상 유무에 관계없이 보강을 요하는 경우	○ 배면주입 ○ Rock Bolt ○ 단면보강

A. 과업지시서 예시

B. 사전검토 보고서 예시

부록 A

과업지시서 예시

-정밀점검, 정밀안전진단

본 과업지시서 예시는 과업의 제반여건에 따라 변경될 수 있습니다.

정밀안전진단(안전점검) 과업지시서

1. 일반조건

1.1 과업명 : ○○터널 정밀안전진단(안전점검)

1.2 과업의 목적

본 과업은 “시설물의안전관리에관한특별법”(이하 ”시특법“ 이라한다.) 제7조 및 동법 시행령 제9조에 규정에 따른 정밀안전진단(안전점검)으로서 시설물에 대한 물리적 기능적 결함을 조사하고 구조적 안전성 및 손상상태를 점검하여, 재해를 예방하고 시설물의 효용을 증진시켜 공공의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

1.3 과업의 범위

1.3.1 시설물 명 : ○○터널

1.3.2 위　　치 : ○○도 ○○시(군) ○○동(면) ○○리

1.3.3 제　　원

- ○ 터 널 형 식 :
- ○ 터 널 연 장 :　　m
- ○ 차선,단,복선 :
- ○ 배 수 형 식 :
- ○ 환 기 방 식 :
- ○ 준 공 년 도 :

1.3.4 정밀안전진단(안전점검) 대상시설물의 범위

[정밀안전진단]

- ◦ 본선라이닝
- ◦ 갱문
- ◦ 개착터널
- ◦ 지하차도
- ◦ 지하정거장
- ◦ 연직갱 및 경사갱
- ◦ 환기구
- ◦ 피난연락갱
- ◦ 연결터널(환기시설)
- ◦ 갱구부 옹벽

[정밀점검]

- ◦ 본선라이닝
- ◦ 갱문
- ◦ 개착터널
- ◦ 지하차도
- ◦ 지하정거장

1.4 과업내용

[정밀안전진단]
1) 자료수집 및 분석
2) 현장조사 및 시험
3) 상태평가
4) 안전성평가
5) 종합평가
6) 보수・보강방법
7) 보고서 작성

[안전점검]
1) 자료수집 및 분석
2) 현장조사 및 시험
3) 상태평가
4) 안전성평가(선택과업이 있을 경우)
5) 보수・보강방법(선택과업이 있을 경우)
6) 보고서 작성

1.5 주요업무의 사전승인 등

계약상대자는 다음사항에 대해서는 사전에 관리주체의 승인을 받아 과업을 수행하여야 한다.

1) 과업수행계획서 및 착수신고서의 내용변경
2) 기본계획을 포함한 주요내용 및 방침의 설정 또는 변경
3) 기타 감독원의 지시나 계약상대자의 판단에 따라 승인 받아야 할 사항

1.6 과업수행 및 공정보고

1.6.1 착수신고서 제출

1) 계약상대자가 과업착수시 제출할 착수신고서와 착수신고서에 포함하여 제출할 서류의 내용과 서식은 다음 각호와 같다.
   ⓐ 착수신고서
   ⓑ 사업수행계획서
   ⓒ 인력 및 장비 투입계획서
   ⓓ 세부공정계획서
   ⓔ 사업책임기술자 선임신고서
   ⓕ 사업수행 조직표
   ⓖ 안전관리계획서
   ⓗ 사전검토 보고서
2) 계약상대자는 당해 시설물의 설계도서 등 유지관리자료와 과업지시서 등이 법령 및 지침, 세부지침 등에 부합되는지의 여부를 검토하여 용역 착수일로부터 15일 이내에 관리주체에게 서면으로 보고하고 그 방침을 받아 용역 업무를 진행하여야 한다. 다만, 용역업무의 특수성 등으로 인하여 별도로 기간을 정할 경우에는 그 기간으로 한다.
3) 설계도서 등의 사전검토를 거쳐 관리주체의 방침을 받은 결과를 반영한 과업수행계획서를 작성하여 관리주체에게 서면으로 보고하고 승인을 받아 용역 업무를 진

행하여야 한다.

4) 설계도서 등의 사전검토 보고서와 과업수행계획서에 관한 일체의 서류는 정밀안전진단(안전점검) 실시결과 보고서에 수록하여야 한다.

5) 계약상대자는 상기 1.6.1항의 착수신고 서류 ○부를 관리주체에 제출하여야 한다.

1.6.2 공정보고

계약상대자는 과업수행기간중 다음사항을 포함한 월간진도보고를 매월 말일을 기준으로 하여 다음달 5일까지 점검책임기술자의 확인을 받아 관리주체에 제출하여야 한다.

1) 과업추진내용 및 공정현황
2) 과업수행상 중요 문제점 및 대책
3) 참여기술자 현황
4) 다음 달 과업수행 계획

1.7 법률준수의 의무

계약상대자는 이 과업을 수행함에 있어 관계 법률에 저촉되는 행위로 인한 모든 피해사항에 대하여 책임을 져야 한다.

1.8 안전관리

1.8.1 일반

안전점검 및 정밀안전진단을 실시하는 사람은 안전은 물론 공공의 안전을 위하여 진단측정장비 및 기기 등을 안전하게 운용하고 작업을 안전하게 수행하도록 안전관리계획을 수립하여야 한다.

1.8.2 안전점검 및 정밀안전진단 종사자의 안전

1) 안전점검 및 정밀안전진단을 실시하는 사람은 안전모, 작업복, 작업화와 필요한 경우 청각, 시각 및 안면보호장비 등을 포함한 개인용 보호장구를 항시 착용하여야 하며 진단측정장비 및 기기를 항상 최적의 상태로 정비하여야 한다.

2) 밀폐된 공간에서의 작업이 필요할 경우에는 유해물질, 가스 및 산소결핍 등에 대한 조사와 대책을 사전에 마련하여야 한다.

1.8.3 공공의 안전

공공의 안전측면에서 관리주체는 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 기간동안 교통통제와 작업공간 확보를 위하여 적절한 계획을 수립 시행하여야 한다.

1.9 용어의 해석

과업지시서상의 용어해석에 차이가 있을 경우에는 관리주체와 계약상대자가 상호 협의하여 결정해야 한다.

2. 점검계획 및 세부사항

2.1 점검계획

2.1.1 일 반

점검계획은 현장에서의 예비조사 후에 수립하며 조사항목은 아래와 같다.

1) 현장여건 및 문제점

2) 시설관리자 및 주민의견 청취

3) 제반시설 관련자료

이때 도면 및 자료를 개략 검토한 후에 조사를 수행함으로써 구조물의 형상이나 세부사항들에 대한 예비검증이 되도록 한다.

2.1.2 점검계획 수립

예비조사시 수집된 자료의 검토 후 점검계획을 수립하며 다음 사항이 포함되어야 한다.

1) 조사범위 및 항목결정

- ○ 각 분야별 조사범위와 세부항목을 전체 점검계획에 맞추어 결정
- ○ 책임기술자가 필요하다고 판단되는 경우 별도조사항목 포함

2) 기존 점검자료 검토

- ○ 기발견된 결함의 확인을 위해 검토

3) 분야별 소요인원 및 구성

- ○ 분야별 총 소요인원을 판단하여 가용인력을 판단, 투입계획수립

4) 재료시험 실시에 대한 적정성여부 판단

5) 점검기간 및 계획된 작업시간 예측

6) 점검범위 및 안전성에 대한 판단

7) 점검장비 선정

재료시험에 대한 장비, 측량장비, 토질, 기계, 전기, 시험장비를 준비할 때에는 분야별 세부조사항목에 부합되는 장비를 준비한다. 또한, 접근장비는 육안조사 및 점검장비에 의한 측정이 가능 하도록 사다리, 이동식작업대, 리프트카, 비계, 모터카 등을 준비한다.

이러한 장비선정시에 다음항목을 고려한다.

① 접근장비를 안전하게 지지하는지 여부

② 장비위치에 따른 교통통제 필요성

③ 장비설치에 따른 지장물 존재여부

8) 점검종사자 안전

○ 점검업무 및 접근방법과 관련하여 점검자는 안전사고 예방에 유의한다.

9) 기타 점검자와 관리주체가 필요하다고 판단되는 사항

2.1.3 과업수행 적용 기준

본 과업은 다음의 현행 제규정 및 지침에 의거하여 제반사항을 성실히 이행하여야 한다.

1) 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
2) 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침
3) 콘크리트 구조설계기준
4) 콘크리트 표준시방서
5) 터널 설계기준
6) 터널 표준시방서
7) 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)
8) 국토해양부 발행 각종 관련 표준시방서

2.2 점검실시 세부사항

2.2.1 자료수집 및 분석

관리주체가 보존하는 감리보고서·시설물관리대장 및 설계도서 등 관련서류와 다음에 명시된 자료를 수집하고 검토·분석하여 본 과업의 기초자료로 활용한다.

1) 설계도서
   시설물의 준공도서로서 종·평면도, 단면도, 구조물도, 시공상세도, 구조계산서, 공사시방서 등 시설물의 유지관리에 필요한 도서
2) 시설물관리대장
3) 시공관련 자료
4) 안전점검 및 정밀안전진단 자료
5) 보수·보강공사 자료

2.2.2 현장 조사 및 제반관련 시험 실시

1) 현장조사는 사전에 기존자료를 검토하여 예상되는 각종손상에 대하여 충분히 이해한 후 현장조사에 임한다.
2) 현장조사는 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단지침(세부지침, 터널편)에 의해 실시하며, 점검대상 구조물에 대한 상세외관조사 및 현장시험을 실시하여 부위(망)별, 부재별로 상태평가에 활용한다.
3) 상세외관조사시 주요결함이 발견될 경우 이에 대한 안전성검토 실시한다.

2.2.3 세부시설별 조사사항

※ 정밀안전진단(안전점검) 대상시설물의 범위와 기본과업 및 선택과업구분에 따라 당해 시설물에 해당하는 조사사항을 선택하여 명시함

구분	조사사항
터널내부	◦균열조사 – 위치, 균열폭, 깊이, 균열의 진행성여부
	◦Joint부 조사(조적식라이닝) – 위치, 크기, 진행성, Seal재열화 등
	◦누수조사 – 위치, 누수량, 탁도, 수질 등
	◦2차라이닝 – 콘크리트 두께조사 – 콘크리트 강도 – 철근배근 탐사 및 철근부식도 측정 – 열화조사 ·파손 및 손상, 박리, 층분리 및 박락, 백태, 철근 노출 – 탄산화 및 염화물 함유량 조사
	◦내부결함 탐사 – 공동 및 공극 조사 – 강지보공 조사, 설치간격, 규격 등
	◦터널계측 – 내공변위, 단면측정, 라이닝응력측정, 변형률측정
	◦지반상태 – 풍화정도, 일축압축 강도, R.Q.D.
	◦배수·공동구상태조사 – 배수상태 – 퇴적물 상태 – 뚜껑파손 상태
	◦진동 및 소음 상태
	◦기타조사
터널외부 (주변환경)	◦균열조사 – 위치, 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진행성여부
	◦누수 및 유해수조사 – 위치, 누수량, 탁도, 수질 등
	◦콘크리트 강도 – 반발경도 시험, 일축압축강도
	◦터널주변조사 – 지표 및 지질조사 – 사면조사 – 토지이용조건
	◦기타조사

2.2.4 선택과업

선택과업은 과업 수행전 계약상대자와 합동으로 실시한 사전조사 결과에 따라 조사항목을 선정하며, 과업수행중에 발생되는 항목은 협의하여 추진한다.

2.2.5 상태평가

상태평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 세부지침의 상태평가 기준에 따라 실시한다.

정밀안전진단에서는 시설물의 전체 부재에 대하여 외관조사망도를 작성하여 부재별로 상세히 상태평가를 실시하며, 책임기술자가 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 결정한다.

상태평가가 정확히 이루어졌는지 확인하는 동시에 기록용 문서로서 이용하기 위하여 안전점검·정밀안전진단을 실시한 사람은 외관조사 결과를 안전점검·정밀안전진단 서식에 각각의 결함의 형태, 크기, 양 및 심각한 정도 등을 기록하여야 한다.

(정밀점검에서는 기본시설물에 대하여 점검하고, 외관조사망도를 작성하여 상세히 상태평가를 실시하며, 외관조사망도를 작성하지 않은 부위는 이전의 안전점검 및 정밀안전진단 보고서에 수록된 상태평가 결과를 참조하여 책임기술자가 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 결정한다.)

2.2.6 안전성평가(안전점검의 경우 선택과업)

책임기술자는 계측 및 구조해석 또는 기존의 안전성평가 자료와 함께 부재별 상태평가, 재료시험 결과 및 각종 계측, 측정, 조사 및 시험 등을 통하여 얻은 결과를 분석하고 이를 바탕으로 구조물의 안전과 부재의 내(하)력 등을 종합적으로 평가하여 세부지침의 안전성평가 기준에 따라 시설물의 안전성평가 결과를 결정한다.

보고서에는 평가에 사용된 해석방법의 종류 및 해석결과에 대한 설명과 계산기록을 포함하여야 한다.

2.2.7 종합평가 및 안전등급 지정

1) 상태평가 및 안전성평가를 실시한 결과를 종합하여 세부지침의 종합평가 기준에 따라 시설물의 종합평가 결과를 결정한다.
2) 정밀안전진단(안전점검)을 실시한 책임기술자는 당해 시설물에 대한 종합적으로 평가한 결과로부터 안전등급을 지정한다.

   다만 정밀안전진단(안전점검) 실시결과 기존의 안전등급보다 상향하여 조정할 경우에는 해당 시설물에 대한 보수·보강 조치 등 그 사유가 분명하여야 한다.

안전등급	시설물의 상태
A (우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B (양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C (보통)	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D (미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E (불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

2.2.8 보수·보강방법(안전점검의 경우 선택과업)

1) 일반

보수는 시설물의 내구성능을 회복 또는 향상시키는 것을 목적으로 한 유지관리 대책을 말하며, 보강이란 부재나 구조물의 내하력과 강성 등의 역학적인 성능을 회복, 혹은 향상시키는 것을 목적으로 한 대책을 말한다.

보수를 위해서는 상태평가 결과 등을, 보강을 위해서는 상태평가 및 안전성평가 결과 등을 상세히 검토하고, 발생된 결함의 종류 및 정도, 구조물의 중요도, 사용 환경조건 및 경제성 등에 의해서 필요한 보수 · 보강 방법 및 수준을 정하여야 한다.

2) 보수·보강의 필요성 판단

보수의 필요성은 발생된 손상(균열 등)이 어느 정도까지 허용되는가의 판단에 의하여야 하며, 이를 위해 본 지침 및 각종 기준(표준시방서 등)을 참조한다.

보강의 경우는 부재안전율을 각종 기준에서 정하는 수치이상으로 하기 위하여 어느 정도까지 부재단면 등을 증가하여야 하는지를 판단하여야 한다.

3) 보수·보강의 수준의 결정

보수·보강의 수준은 위험도, 경제성 등을 고려하여 아래의 경우 중에서 결정한다.

◦현상유지(진행억제)

◦실용상 지장이 없는 성능까지 회복

◦초기 수준이상으로 개선

◦개축

4) 공법의 선정

구조물 결함에 따른 보수·보강은 보수재료와 공법 선정시 공법의 적용성, 구조적 안전성, 경제성 등을 검토하여 결정한다.

이때 중요한 것은 구조물의 결함 발생 원인에 대한 정확한 분석이며, 이를 통해 적절한 공법을 선정할 수 있고, 또한 적절한 보수재료를 선택할 수 있다.

따라서 시설물관련 제반자료, 진단시 수행한 각종 상태평가 및 안전성 평가 결과를 기초로 하여, 결함 발생 원인에 대한 정확한 분석 후 결함부위 또는 부재에 가장 적합한 보수·보강공법을 선정하여야 한다.

5) 보수·보강 우선순위의 결정

각 시설물은 주요부재와 보조부재로 이루어져 있으며, 이들 시설물에서 발생된 각종 결함에 대한 보수·보강 우선순위는 다음과 같이 결정한다.

◦보수보다 보강을, 주부재를 보조부재보다 우선하여 실시한다.

◦시설물 전체에서의 우선순위 결정은 각 부재가 갖는 중요도, 발생한 결함의 심각성 등을 종합 검토하여 결정한다.

6) 유지관리 방안 제시(선택과업)

시설물을 안전하고 경제적으로 유지관리하는데 필요한 사항을 제시하는 것으로 결함 및 손상의 종류와 원인, 점검요령, 조치대책 등에 관한 실무적이고 필수적인 내용을 해당 시설물의 그림 및 사진 등을 위주로 구성하여 안전점검 경험이 적은 사람도 쉽게 활용할 수 있도록 하여야 한다.

3. 보고서 작성 방법

3.1 일반

정밀안전진단(안전점검) 실시결과 보고서는 시설물 관리주체의 유지관리업무에 효율적이며 체계적으로 활용할 수 있도록 과업내용을 중심으로 작성·제출하여야 하며, 세부적인 작성 방법은 세부지침을 참조한다.

3.2 정밀점검보고서에 포함될 사항

1) 서두

보고서의 표지 다음에 정밀점검의 개요를 쉽게 알 수 있도록 다음의 서류를 붙인다.

◦ 제출문(정밀점검을 실시한 기관의 장)
◦ 정밀점검 결과표 (안전등급)
◦ 시설물 현황표
◦ 참여 기술진 명단
◦ 시설물의 위치도
◦ 시설물의 전경사진, 부위별 사진
◦ 정밀점검 실시결과 요약문
◦ 보고서 목차

2) 정밀점검의 개요

정밀점검의 범위와 과업내용 등 정밀점검 계획 및 실시와 관련된 주요사항을 기술한다.

◦ 점검의 목적
◦ 시설물의 개요 및 이력사항
◦ 점검의 범위 및 과업내용
◦ 사용장비 및 기기 현황
◦ 점검 수행 일정

3) 자료수집 및 분석

정밀점검의 관련자료를 검토 · 분석하고 그 내용을 기술한다.

◦ 설계도면, 구조계산서
◦ 기존 정밀점검 · 정밀안전진단 실시결과
◦ 보수·보강이력
◦ 시설물의 내진설계 여부 확인
◦ 기타 관련자료

4) 현장조사 및 시험

과업내용에 의거 실시한 현장조사, 시험 및 측정 등의 결과분석 내용을 기술하고, 필요한 경우 사진 또는 동영상 등을 첨부한다.

◦ 기본시설물 또는 주요부재별 외관조사 결과분석
◦ 주요한 결함(손상)의 발생원인 분석
◦ 재료시험 및 측정 결과분석

5) 시설물의 상태평가

과업내용에 따라 실시한 현장조사 및 시험의 분석 결과에 따라서 상태평가 결과의 작성 방법은 세부지침의 제8장에서 기술한 내용을 따른다.

◦ 대상 부재별 상태평가 및 시설물 전체의 상태평가 결과 결정
◦ 콘크리트 또는 강재의 내구성 평가

6) 안전등급 지정

정밀점검 실시결과 상태평가 및 안전성평가(필요시) 등을 종합적으로 평가하여 제11장에서 기술한 내용을 따라 당해 시설물의 안전등급을 지정하여야 한다.

7) 시설물의 안전성 평가 (필요한 경우 추가로 실시)

안전점검 결과 시설물의 보수·보강방법을 제시한 때에는 보수·보강시 예상되는 임시 고정하중(공사용 장비 및 자재 등)이 시설물에 현저하게 작용하는 경우에 대한 시행방법을 검토

8) 종합결론 및 건의

◦ 정밀점검 실시결과의 종합결론
◦ 정밀안전진단 및 시설물의 사용제한의 필요성 여부

◦ 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항
◦ 기타 필요한 사항

9) 부록

◦ 과업지시서
◦ 외관조사망도
◦ 측정, 시험 성과표
◦ 상태평가 결과 자료
◦ 시설물관리대장 사본
◦ 현황조사 및 외관조사 사진첩
◦ 사용장비 및 기기의 사진
◦ 사전조사 자료 일체
◦ 기타 참고자료
(정밀점검 결과와 관련되는 설계도서, 감리보고서, 이전의 안전점검 및 정밀안전진단 보고서 등 관련자료 포함)

3.3 정밀안전진단보고서에 포함될 사항

1) 서두

보고서의 표지 다음에 정밀안전진단의 개요를 쉽게 알 수 있도록 다음의 서류를 붙인다.

◦ 제출문(정밀안전진단을 실시한 기관의 장)
◦ 정밀안전진단 결과표 (안전등급)
◦ 시설물 현황표
◦ 참여 기술진 명단
◦ 시설물의 위치도
◦ 시설물의 전경사진, 부위별 사진
◦ 정밀안전진단 실시결과 요약문
◦ 보고서 목차

2) 정밀안전진단의 개요

정밀안전진단의 범위와 과업내용 등 정밀안전진단 계획 및 실시와 관련된 주요 사항을 기술한다.

◦ 진단의 목적
◦ 시설물의 개요 및 이력사항
◦ 진단의 범위 및 과업내용
◦ 사용장비 및 시험기기 현황
◦ 진단 수행 일정

3) 자료수집 및 분석

정밀안전진단의 관련자료를 검토 · 분석하고 그 내용을 기술한다.

◦ 설계도면, 구조계산서

◦ 기존 정밀점검·정밀안전진단 실시결과
◦ 보수·보강이력 및 용도변경
◦ 시설물의 내진설계 여부 확인
◦ 기타 관련자료

4) 현장조사 및 시험

과업내용에 의거 실시한 현장조사, 시험 및 측정 등의 결과분석 내용을 기술하고, 필요한 경우 사진 또는 동영상 등을 첨부한다.

◦ 전체 시설물 외관조사 결과분석
◦ 주요한 결함(손상)의 발생원인 분석
◦ 재료시험, 측정결과의 분석

5) 시설물의 상태평가

과업내용에 따라 실시한 현장조사 및 시험의 분석 결과에 따라서 시설물의 상태평가 결과를 작성하며, 작성 방법은 세부지침의 제8장에서 기술한 내용을 따른다.

◦ 콘크리트 또는 강재의 내구성 평가
◦ 부재별 상태평가 및 시설물 전체의 상태평가 결정

6) 시설물의 안전성평가

과업내용에 따라 실시한 현장조사 및 재료시험 등의 결과를 분석하고 이를 바탕으로 구조물의 내구성, 사용성 및 안전성 등을 검토하고 시설물의 구조적, 기능적 안전성을 평가한다.

◦ 현장 재하시험 및 계측 결과분석
◦ 지형, 지질, 지반, 토질조사 등의 결과분석
◦ 시설물의 변위, 변형 등의 측정결과 분석
◦ 시설물의 구조 및 지반해석 및 구조 및 지반해석을 통한 분석결과
◦ 정밀안전진단 결과 시설물의 보수·보강방법을 제시한 때에는 보수·보강시 예상되는 임시 고정하중(공사용 장비 및 자재 등)이 시설물에 현저하게 작용하는 경우에 대한 구조안전성 평가 포함 시행
◦ 시설물의 안전성평가 결정

안전성평가 작성 방법은 세부지침의 제9장에서 기술한 내용을 따른다.

7) 종합평가

◦ 시설물의 상태평가와 안전성평가 결과를 종합하여 안전상태 종합평가 결과의 결정한다

종합평가 작성 방법은 세부지침의 제10장에서 기술한 내용을 따른다.

8) 안전등급 지정

정밀안전진단 실시결과 상태평가 및 안전성평가 등을 종합적으로 평가하여 제11장에서 기술한 내용을 따라 당해 시설물의 안전등급을 지정하여야 한다.

9) 보수·보강 방법

시설물의 상태평가와 안전성평가 결과에 따라 손상 및 결함이 있는 부위 또는 부재에 대하여 적용할 보수·보강 방법을 제시함.

(내진성능 평가 후 내진능력 부족시의 경우를 포함)

◦ 보수 · 보강방법에 대한 개요, 시공방법, 시공시 주의사항 등

◦ 당해 시설물의 유지관리를 위한 요령, 대책 등

시설물을 안전하고 경제적으로 유지관리하는데 필요한 사항을 제시하는 것으로 결함 및 손상의 종류와 원인, 점검요령, 조치대책 등에 관한 실무적이고 필수적인 내용을 해당 시설물의 그림 및 사진 등을 위주로 구성하여 안전점검 경험이 적은 사람도 쉽게 활용할 수 있도록 하여야 한다.

10) 종합결론 및 건의사항

◦ 정밀안전진단 실시결과의 종합결론

◦ 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항

◦ 기타 필요한 사항

11) 부록

◦ 과업지시서

◦ 외관조사망도

◦ 구조해석 모델링 및 수치해석 자료 (입출력자료는 e-보고서에 포함)

◦ 측정, 시험, 계측 성과표

◦ 상태평가 결과 자료

◦ 안전성평가 결과 자료

◦ 시설물관리대장 사본

◦ 현황조사 및 외관조사 사진첩

◦ 사용장비 및 기기의 사진

◦ 사전조사 자료 일체

◦ 기타 참고자료

(정밀안전진단 결과와 관련되는 설계도서, 감리보고서, 이전의 안전점검 및 정밀안전진단 보고서 등 관련자료 포함)

4. 성과품 납품목록

이 과업과 관련한 성과품은 다음과 같으며 이에 대한 지불은 산출내역서상의 계약금액으로 한다

1) 정밀안전진단(안전점검)보고서(부록포함) : 20부(안전점검의 경우 10부)

2) CD보고서 : 5부

3) 사진첩 : 3부

부록 B

사전검토 보고서 예시

정밀안전진단(안전점검) 사전검토 보고서

1. 과업명 : ○○터널 정밀안전진단(안전점검)

2. 배경 및 목적

시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침(국토해양부고시 제2010-1037호, 2010. 12.31)의 3.1.4항 및 3.9.2항에 따라 과업대상 시설물의 과업지시서 또는 용역설계서 내용이 법령 및 지침, 세부지침 등에 부합되는지 여부를 검토하고, 그 결과를 관리주체에 보고하고 과업수행계획서에 수록하고자 함

3. 과업의 범위

3.1 시설물 명 : ○○터널

3.2 위　　치 : ○○도 ○○시(군) ○○동(면) ○○리

4. 사전검토 내용

4.1 안전점검 및 정밀안전진단 대상시설물의 범위

구 분	시설물명	지침 및 세부지침상 점검 및 진단 실시범위			금회 실시범위	제외 사유
		정기 점검	정밀 점검	정밀 안전진단		
기본 시설물	◦ 본선라이닝	○	○	○	○	
	◦ 갱문	○	○	○	○	
	◦ 개착터널	○	○	○	○	
	◦ 지하차도	○	○	○	○	
	◦ 지하정거장	○	○	○	○	
부대 시설물	◦ 연직갱 및 경사갱	○		○		대상시설이 없음
	◦ 환기구	○		○	○	
	◦ 피난연락갱	○		○		대상시설이 없음
	◦ 연결터널(환기시설)	○		○		대상시설이 없음
	◦ 갱구부 옹벽	○		○	○	

4.2 안전점검 및 정밀안전진단 유지관리자료 보유 현황 검토

보존대상 목록		관리주체 보유현황	비고
설계도서	◦ 공통 – 준공내역서 – 공사시방서 – 각종계산서 – 토질조사 보고서 – 기타 특이사항 보고서		
	◦ 설계도면 – 공통 – 토목 – 건축 – 기계·전기설비		
시설물 관리대장	◦ 기본현황 ◦ 상제제원 ◦ 유지관리 이력		
시공관련 자료	◦ 시공관련 자료 ◦ 품질관리 관련자료 – 재료증명서 – 품질시험기록 – 관리 및 선정시험 기록 등 각종 시험 기록 – 시설물의 주요 구조 부위에 대한 계측 관련자료 ◦ 사고기록 ◦ 터널시설 운영기록		
안전점검 및 정밀안전진단 자료			
보수보강 자료			

4.3 안전점검 및 정밀안전진단 과업의 범위

[표 1.1] 정밀점검일 경우

과업항목	지침상 기본과업	금회 과업 내용
자료수집 및 분석	•설계도서 •시설물관리대장 •시공관련자료 •안전점검·정밀안전진단 실시결과 자료 •보수·보강이력 검토·분석	○해동
현장조사 및 시험	•외관조사 및 외관조사망도 작성 •간단한 현장 재료시험 등 – 콘크리트 비파괴강도(반발경도시험) – 콘크리트 탄산화 깊이 측정	○콘크리트 시험 -반발경도시험 -탄산화시험
상태평가	•외관조사 결과분석 •재료시험 결과분석 •대상 시설물(부재)에 대한 상태평가 •시설물 전체의 상태평가 결과에 대한 책임 기술자의 소견 (안전등급 지정)	○해동
안전성평가	–	
보수・보강 방법	–	
보고서작성	•CAD 도면 작성 등 보고서 작성	○해동

과업항목	지침상 선택과업	금회 과업 내용	비용 반영
자료수집 및 분석	•구조 · 지반해석(계산서가 없는 경우) •실측도면 작성 (도면이 없는 경우)		
현장조사 및 시험	•전체부재에 대한 외관조사망도 작성 •시설물조사에 필요한 임시접근로, 가설물의 안전시설 설치 및 해체 등 •조사용 접근장비 운용 •조사부위 표면청소 •마감재의 해체 및 복구 •기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성 평가 등에 필요한 조사·시험	○전체부재 외관조사망도 작성 ○콘크리트 시험 - 코어채취 - 염화물함유량 - 실내시험 등 ○물리탐사 - 지반탐사(GPR탐사)	
상태평가	–		
안전성평가	•필요한 부위의 구조·지반해석 등 안전성평가 •임시 고정하중에 대한 안전성평가		
보수・보강 방법	•보수·보강 방법 제시		

[표 1.2] 정밀안전진단일 경우

과업항목	지침상 기본과업	금회 과업 내용
자료수집 및 분석	•설계도서 •시설물관리대장 •시공관련자료 •안전점검·정밀안전진단 실시결과 자료 •보수·보강이력 검토·분석	○ 해당
현장조사 및 시험	•전체부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성 •현장 및 재료시험 등 – 콘크리트시험 : 비파괴강도(반발경도시험, 초음파법 등), 탄산화 깊이측정, 염화물함유량시험 – 강재 시험 : 강재 비파괴시험 •기계·전기설비 및 계측시설의 작동 유무 •기타조사	○ 전체부재 외관조사 및 외관조사망도 작성 ○ 콘크리트 시험 -반발경도시험 -초음파법 -탄산화시험 -균열깊이 조사 -염화물함유량시험 ○ 철근탐사시험 -철근부식도측정 -철근배근탐사
상태평가	•외관조사 결과분석 •현장시험 및 재료시험 결과분석 •콘크리트 및 강재 등의 내구성 평가 •부재별 및 시설물 전체 상태평가 결과에 대한 소견	○ 해당
안전성평가	•조사, 시험, 측정결과의 분석 •기존의 구조계산서 또는 안전성평가 자료 검토·분석 •내하력 및 구조안전성 평가 •시설물의 안전성평가 결과에 대한 소견	○ 해당
종합평가	•시설물의 종합평가 결과에 대한 소견 •안전등급 지정	○ 해당
보수·보강방법	•보수 · 보강 방법 제시	○ 해당
보고서작성	•CAD 도면 작성 등 보고서 작성	○ 해당

[표 1.2] 정밀안전진단일 경우(계속)

과업항목	지침상 선택과업	금회 과업 내용	비용 반영
자료수집 및 분석	•구조 · 지반 해석(계산서가 없는 경우) •실측도면 작성 (도면이 없는 경우)		
현장조사 및 시험	•시료채취 및 실내시험 •지형,지질,지반조사 및 탐사, 토질조사 •누수탐사 •침하, 변위, 거동 등의 측정 •시설물조사에 필요한 임시접근로, 가설물의 안전시설 설치 및 해체 등 •조사용 접근장비 운용 •조사부위 표면청소 •마감재의 해체 및 복구 •기계전기설비 및 계측시설의 성능검사 또는 시험계측 •기본과업 범위를 초과하는 강재비파괴시험 •기타 관리주체의 추가 요구 및 안전성평가 등에 필요한 조사·시험	○콘크리트 시험 -코어채취 -실내시험 등 ○지반 및 토질조사 ○물리탐사 등 -지반탐사(GPR탐사)	 ○ ○ ○ ○
안전성평가	•구조지반해석 등 •구조안전성 평가 등 전문기술을 요하는 경우의 전문가 자문 •내진성능 평가 및 사용성 평가 •임시 고정하중에 대한 안전성평가	○구조 및 지반 안전성평가 ○터널 내진성능평가	× ×
보수 · 보강 방법	•내진보강 방안 제시 •시설물 유지관리 방안 제시	○터널내진보강 방안 제시 ○시설물 유지관리 방안 제시	× ×

4.4 안전점검 및 정밀안전진단 기본과업 재료시험 수량

[표 2.1] 정밀점검의 경우

구 분	세부지침 기준		금회 수량	비고
	터널	산출수량		
측점분할	ㅇ5 ~ 20m 간격 ㅇ책임기술자 판단에 의해 조정 가능			
반발경도시험	ㅇ(총연장÷300m)개소 ㅇ책임기술자 판단에 의해 상향 조정 가능			
탄산화깊이 측정	ㅇ철근콘크리트 구조물 -총연장 1,000m미만 : 2개소 -총연장 1,000m이상 : 최소2개소+1,000m당 1개소 추가 ㅇ책임기술자 판단에 의해 상향 조정 가능			

[표 2.2] 정밀안전진단의 경우

구 분	세부지침 기준		금회 수량	비고
	터널	산출수량		
측점분할	ㅇ5 ~ 50m 간격			
단면측량	ㅇ총수량 = (총연장÷200m)+1개소 ㅇ책임기술자 판단에 의해 조정 가능			
반발경도시험	ㅇ(총연장÷100m)×2개소 ㅇ동일 부위 시험 원칙 ㅇ책임기술자 판단에 의해 상향 조정 가능			
초음파법				
철근탐사시험	ㅇ총연장 1,000m미만 = 4개소 ㅇ총연장 1,000m이상 = 최소 4개소+500m당 1개소 추가 ㅇ책임기술자 판단에 의해 상향 조정 가능			
탄산화 깊이 측정				
염화물 함유량시험				
철근부식도 시험	ㅇ책임기술자 판단에 따라 조사 및 수량 결정			
균열깊이 조사	ㅇ책임기술자 판단에 따라 수량 결정			

주1) 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존 자료 이용 가능

4.5 기타 사항

5. 결론

[정밀점검의 경우 예시]

과업지시서와 용역설계서 검토결과, 정밀점검의 범위, 유지관리자료, 과업범위, 기본과업의 재료시험수량은 모두 지침, 세부지침과 부합됨.

[정밀안전진단의 경우 예시]

과업지시서와 용역설계서 검토결과, 정밀안전진단의 범위, 유지관리자료, 기본과업의 재료시험수량은 지침, 세부지침과 부합됨.

다만, 정밀안전진단 과업범위 중 아래와 같이 일부 항목에 대한 비용이 반영되지 않아 보완이 필요함

- **현장조사 및 시험**
  - 지반조사
  - 물리탐사

- **안전성평가**
  - 구조해석
  - 지반해석

- **보수·보강방법**
  - 터널 내진보강방안
  - 시설물 유지관리 방안 제시

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 해설서(터널)

발행 한국시설안전공단

2011년12월 일 초판

* 본 세부지침해설서의 내용에 관한 질의 및 건의 사항은 한국시설안전공단으로 연락하여 주시기 바랍니다.

한국시설안전공단 (http://www.kistec.or.kr)
(우) 411-758 경기도 고양시 일산서구 고양대로 315 대표전화 1599-4114, 031-910-4114

본 세부지침해설서 및 다른 해설서 내용은
공단홈페이지에서 다운로드 받으실 수 있습니다.

공 통 편			2011. 12
시설물편	제 1장	교 량	2011. 12
	제 2장	터 널	2011. 12
	제 3장	댐	2011. 12
	제 4장	항 만	2011. 12
	제 5장	상 수 도	2011. 12
	제 6장	하 구 둑	2012. 12 (예정)
	제 7장	수 문	2012. 12 (예정)
	제 8장	제 방	2012. 12 (예정)
	제 9장	하수처리장	2012. 12 (예정)
	제 10장	건 축 물	2011. 12
	제 11장	옹 벽	2012. 12 (예정)
	제 12장	절 토 사 면	2012. 12 (예정)