
제2장 터 널

2.1 관리일반

2.2 현장조사

2.3 재료시험 항목 및 수량

2.4 상태평가기준 및 방법

2.5 안전성평가기준 및 방법

2.6 종합평가기준 및 방법

2.7 보수·보강 방법

제2장 터널

2.1 관리일반

2.1.1 적용 범위

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

○ 제1종시설물

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

○ 제2종시설물

- 도로터널
 - 제1종시설물에 해당하지 않는 터널로서 고속국도, 일반국도 및 특별시도 및 광역시도의 터널
 - 제1종시설물에 해당하지 않는 터널로서 연장 300m 이상의 지방도, 시도, 군도, 구도의 터널
 - 제1종시설물에 해당하지 않는 지하차도로서 터널구간의 연장이 100m 이상인 지하차도
- 철도터널
 - 제1종시설물에 해당하지 않는 터널로서 특별시 또는 광역시에 있는 터널

○ 제3종시설물

- 터널
 - 준공 후 10년이 경과된 터널로
 - 연장 300m 미만의 지방도, 시도, 군도 및 구도의 터널
 - 「농어촌도로 정비법 시행령」 제2조제1호에 따른 터널
 - 제1종시설물에 해당하지 않는 터널로서 특별시 및 광역시 외의 지역에 있는 철도터널
- 지하차도
 - 설치된 지 10년 이상 경과된 연장 100m 미만인 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 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙
- 건설기준코드(구 콘크리트 구조기준)
- 건설기준코드(구 콘크리트 표준시방서)
- 터널 관련 건설기준코드
- 지하차도 관련 건설기준코드
- 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격(KS)
- 국토교통부 발행 각종 관련 건설기준코드(구 표준시방서 등)

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

2.1.2 용어 정의

- 터널
 - 지표면 하에 축조되는 도로나 공간으로 이용하는 지하구조물로서 단면적 2m^2 이상이며 입·출구부가 있는 시설물을 말한다.
- 도로 터널
 - 도로법에 의한 도로상의 터널을 말한다.
- 고속철도 터널
 - 고속철도법에 의한 철도상의 터널을 말한다.
- 광역철도 터널
 - 철도건설법에 의한 광역철도상의 터널을 말한다.
- 도시철도 터널
 - 도시철도법에 의하여 건설 또는 관리하는 철도상의 터널로서 터널의 연장은 도시철도 건설규칙에서 규정한 정거장이 포함된 지하터널 입출구부를 기준으로 한다.
- 일반철도 터널
 - 철도법에 의한 철도상의 터널을 말한다.
- 지하구조물
 - 지표면의 하부에 설치된 구조물을 말한다.
단, 지상건축물과 연결된 지하구조물은 건축물로 본다.
- 토사터널
 - 토사(土沙, 흙과 모래)로 만들어진 터널을 말한다.
- 개착터널(Cut and Cover Tunnel)
 - 지표면부터 굴착하고 터널식 구조물을 완성한 후, 다시 매립한 터널을 말한다.
 - 토피고에 따른 지반정수를 이용하여 부재에 작용하는 하중을 산정할 수 있으며, 다양한 흙막이공법에 의한 굴착과 구조물 시공 후 되메워 지중에 설치하는 터널을 일컫는다.
 - 지하철, 지하차도, 지하역사 등이 포함된다.

○ 굴착터널

- 지반을 굴착하여 만들어진 터널을 말하며, 지반의 강도에 따라 암반터널, 토사터널, 연약지반터널 등으로 구분된다.
- 평형상태인 원지반(In-situ)을 발파 및 기계장치로 굴착하여 터널을 형성함에 따라 굴착면 주변의 소성영역, 지하수의 흐름 등이 변화된다.
- 이때, 붕괴가 발생되지 않도록 지반자체의 강성과 적절한 지보재를 설치하여 새로운 평형상태에 이르게 되도록 시공된 터널을 일컫는다.
- 재래식터널, NATM터널, TBM터널 등이 포함된다.

○ NATM터널

- 목재 또는 강지보를 사용한 재래식터널을 개선한 공법으로 NATM(New Austrian Tunnelling Method)으로 시공된 터널을 일컫는다.
- 주지보재로 슛크리트, 강지보, 록볼트를 사용하여 2차원의 천단변위를 제어하며, 계측을 통해 지반자체의 강도를 극대화할 수 있는 장점이 있다.

○ 재래식터널

- 슛크리트, 방수지 등이 없이 굴착 후 강지보를 설치하여 굴착으로 인한 이완영역의 하중을 라이닝이 지지하도록 설계한 터널을 의미하며, 목재 및 강재지보를 사용한 마제형 철도터널이 이에 해당된다.

○ 연결터널(환기시설)

- 환기시설과 본선터널을 연결하는 터널이다.

○ TBM(Tunnel Boring Machine)

- 디스크커터 및 커터비트가 장착된 전면의 커터헤드에 의해 지반을 천단면으로 굴착할 수 있는 기계를 의미한다.
- 그리퍼로 굴착면을 지지한 채 굴진하는 Open TBM은 주로 암반구간에 사용하며, 기 조립된 세그먼트에 유압 추진잭의 반력으로 굴진하는 Shield TBM으로 구분한다.
- EPB TBM은 전방을 혼화재를 교반한 토체의 토압을 스쿠류의 개폐압력으로 제어하며, Slurry TBM은 전방압을 슬러리의 비중, 점성 등으로 관리하며 굴진하는 특징을 지닌다.

○ 역사

- 승객이 열차(본선에서 운행할 목적으로 편성된 차량)를 타고 내리는데 사용되는 건축물을 말한다.
- 지하역사는 출입통로·대합실·승강장 및 환승통로와 이에 딸린 시설물을 포함한다.

○ 정거장

- 승객이 열차(본선에서 운행할 목적으로 편성된 차량을 말한다)를 타고 내리는데 사용되는 장소를 말한다.

○ 천장부(crown)

- 터널 천단을 포함한 좌우 어깨 사이의 구간을 말한다.

- 측벽부(wall)
 - 터널어깨 하부로부터 바닥부에 이르는 구간을 말한다.
- 접속부
 - 단면의 형태 및 규모가 같거나 다른 터널이 서로 접속되는 구간을 말한다.
- 갱구부 옹벽
 - 터널 종단의 시점부와 종점부에 위치하는 옹벽을 말한다.
- 갱문
 - 터널의 입·출구부를 보호하기 위하여 설치하는 문 모양의 구조물을 말한다.
- 연직갱 또는 수직갱
 - 터널공사 및 환기나 방재를 위하여 연·수직으로 굴착된 지하공간을 말한다.
- (경)사갱
 - 터널 굴착 시 버력이나 재료의 운반을 위하여 굴착하는 것으로 일정한 경사를 가진 갱을 말하며, 운용중에는 환기용으로 활용되기도 한다.
- 어깨(shoulder)
 - 터널의 천장과 스프링 라인의 중간점을 말한다.
- 덕트슬래브
 - 도로터널 환기를 위해 설치한 덕트공간을 차량운행영역과 분리하기 위해 현장타설 또는 프리캐스트로 라이닝의 상단에 설치한 슬래브형태의 구조물을 일컫는다.
- 세그먼트(segment)
 - TBM터널의 라이닝을 구성하는 단위조각으로 재질에 따라 강판을 용접한 강제 세그먼트, 철근콘크리트의 콘크리트 세그먼트 등이 있다.
 - 라이닝을 시공하는 방법으로 현장타설 콘크리트가 아닌 공장의 기성제품을 현장에 반입하여 일반세그먼트와 키세그먼트, 이 둘을 연결하는 조절세그먼트로 한 개의 링을 구성한다.
 - 높은 설계기준강도와 규격화된 품질관리가 가능하며 세그먼트 연결에 따른 방수 및 체결을 위한 부속품이 필요하다.
- 조적식 라이닝
 - 원지반의 하중을 강지보재에 의해서 지지하면서 최종적으로 적층의 벽돌, 돌, 시멘트 블록 등으로 이루어진 재래식터널 라이닝이다.
- 지보패턴
 - 터널 막장면(굴진면)의 지반상태와 터널 천장부 및 그 상부의 지반상태, 시공성 등을 고려하여 터널의 안정성이 확보되도록 미리 설정해 놓은 지보 형태를 말한다.
 - 터널굴착 후 지반조건에 신속하게 대처하기 위해 슛크리트, 록볼트 및 강지보재와 보조공법 등을 조합한 시공절차의 패턴이다.
- 스팬(Span)
 - 라이닝 횡방향 시공이음과 시공이음 사이의 영역으로 한 개의 거푸집에서 동일 시공 환경으로 시공된 구조물 단위로 정의한다.

- 또한, 임의 시공이음으로부터 형식이 다른(환기구, 연결터널 등) 이음 등으로 설정할 수 있다.
- 쉬트(Sheet)
 - 상태평가를 위한 최소단위를 의미하며, 30m 전·후로 선정한다. 다만, 터널 라이닝의 시공이음 및 신축이음, 철근과 무근 경계, 단면변화로 인한 경계 등을 고려하여 책임기술자가 조정할 수 있다.
- 추락방지시설
 - 공중(公衆)이 이용하는 난간, 점검로 등의 이용자 안전을 확보하기 위한 시설을 말한다.
- 도로부 신축이음부
 - 도로교량, 도로터널의 차량이동 부위에 온도 등에 따라 늘어나거나 줄어들면서 생길 수 있는 변형 또는 균열을 방지하기 위한 장치(댐, 제방 등 시설물은 부대 시설물에 포함된 도로교량에 한함)를 말한다.
- 환기구 등의 덮개
 - 시설물의 출입구, 환기와 같은 시설물 유지관리 목적으로 보행자 또는 차량이동 구간에 설치된 환기구, 맨홀 등의 덮개(지지구조, 철물, 연결재, 걸침턱 등)를 말한다.

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 시설물 및 기타 시설물이 「영」 제4조에 따른 제1종·제2종시설물에 해당되는 경우에는 「법」 제11조 및 제12조에 따라 제1종시설물은 정밀안전점검 및 정밀안전진단을 실시하여야 하고, 제2종시설물은 정밀안전점검을 실시하여야 한다.

[표 2.1] 터널 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 대상시설 범위

구 분	시설물명	점검 및 진단 실시범위			비 고
		정기안전점검	정밀안전점검	정밀안전진단	
기본 시설물	◦라이닝	○	○	○	
	◦갱문	○	○	○	
	◦개착터널	○	○	○	
	◦지하차도	○	○	○	
	◦지하역사 ¹⁾	○	○	○	
부대 시설물	◦연직갱 및 경사갱	○		○	
	◦환기구 ²⁾	○		○	
	◦피난연락갱	○		○	
	◦연결터널(환기시설)	○		○	
	◦갱구부옹벽 ³⁾	○		○	
	◦절토사면 ³⁾	○		○	
공중이 이용하는 부위	◦추락방지시설	○	○	○	
	◦도로포장	○	○	○	
	◦도로부 신축이음부	○	○	○	
	◦환기구 등의 덮개	○	○	○	

주1) 지하역사에서 터널시설물은 터널과 연속되는 선로구간에 한함

※ 「법」 시행령 별표1 지하역사에서 선로구간은 연속되는 터널 시설물에 포함

주2) 역사(건축물) 내에 있는 환기구는 제외함

주3) 제2종시설물 및 제3종시설물에 해당하지 않는 소규모 옹벽 및 절토사면(갱구부 상부 및 터널 입·출구부 좌·우 등)

2.1.4 중대한 결함 등의 정도

가. 중대한 결함의 적용 범위

터널 시설물의 구조안전에 중대한 영향을 미치는 것으로 인정되는 결함으로 대통령령으로 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) 철근콘크리트의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실

- 2.4.2절의 상태평가항목 및 기준의 재질열화에서 콘크리트 탄산화 잔여 깊이 또는 콘크리트 전염화물 이온량 등에 대한 상태평가기준이 “d” 이고, 철근노출에 대한 상태평가기준이 “e”를 포함하는 경우
- 탄산화 잔여 깊이 또는 전염화물 이온량 등에 대한 상태평가기준이 “e” 판정인 경우

3) 균열 심화 및 탈락

- 2.4.2절의 상태평가항목 및 기준의 균열에서 진행성 균열에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우, 고정 균열은 면적율이 20%이상으로 평가기준이 “e”인 경우
- 2.4.2절의 상태평가항목 및 기준의 파손 및 손상에서 면적율이 20% 이상으로 상태평가기준이 “d” 이하인 경우

4) 라이닝부위 심한 누수 및 변형

- 2.4.2절의 상태평가항목 및 기준의 누수에서 평가기준이 “d” 이하이며, 토립자가 함께 유출되어 구조적 결함을 유발시킬 수 있거나 고드름 및 측빙 등으로 차량 통행에 현저한 지장을 주는 경우
- 터널의 변형정도가 안전등급 기준이 “D” 이하로 판정 할 수 있는 경우

5) 시공이음부 천단 반원형 균열의 박락

- 시공이음부에 천단의 반원형 균열의 폭이 1mm이상이며, 타음시 움직임이 확인된 경우 책임기술자는 해당 결함의 박락위험성을 고려하여 중대한 결함으로 판단 할 수 있다.

나. 공중이 이용하는 부위의 적용 범위

터널 시설물의 공중의 안전에 영향을 미치는 것으로 인정되는 결함으로 대통령령으로 정하는 공중이 이용하는 부위의 적용 범위는 다음과 같다.

다만, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 조정할 수 있다.

1) 추락방지시설

○ 추락방지시설에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우

2) 도로포장

○ 도로포장에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우

3) 도로부 신축이음부

○ 도로부 신축이음부에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우

4) 환기구 등의 덮개

○ 환기구 등의 덮개에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우

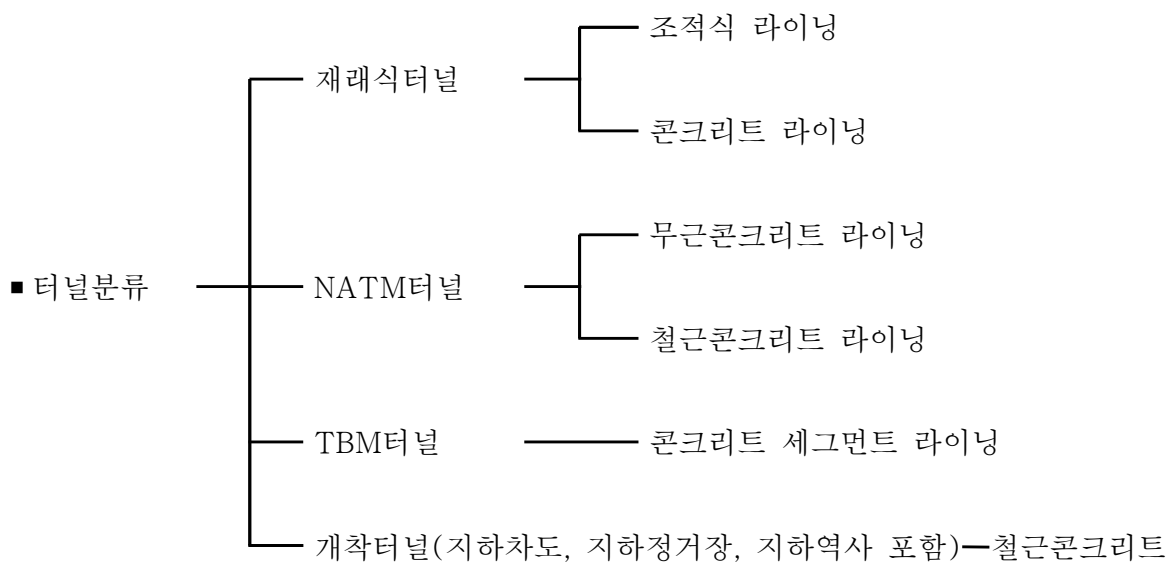
2.2 현장조사

2.2.1 시설물의 점검사항

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.



[그림 2.1] 터널 라이닝 시공방법에 따른 터널 분류

나. 시설물 상태변화의 점검항목

1) 상태변화 점검항목

시설물의 상태변화에 따른 평가는 터널의 라이닝 및 주변 시설물로 구분하며, 지하차도는 철근콘크리트 구조물과 주변상태 등을 상태평가 시 점검사항은 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, 재료분리, 철근노출, 탄산화, 염화물)	
터널주변 상태 등	◦ 배수상태 ◦ 지반상태 ◦ 갱문상태 ◦ 공동구상태 ◦ 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, 재료분리, 철근노출, 탄산화, 염화물)	
지하차도 주변상태 등	◦ 배수상태 ◦ 갱문상태	

2) 정기안전점검 점검항목

점 검 부 위	점 검 항 목	비고
터널내부	◦ 라이닝 등의 변상 : 균열, 누수 등 ◦ 부대시설물 등 : 상태변화 여부	
터널외부	◦ 갱문의 주요변상 : 균열, 침하 등 ◦ 공중이 이용하는 부위 ◦ 기타	

3) 정밀안전점검 점검항목

점 검 부 위	점 검 항 목	비고
터널내부	◦ 라이닝 등 주요변상 · 균열, 누수, 파손 및 손상 · 박리, 박락, 백태 · 철근노출 등 ◦ 하중상태의 변화 ◦ 반발경도법에 의한 강도조사 ◦ 탄산화 시험 ◦ 기타조사(환기설비, 조명시설 등¹⁾)	
터널외부	◦ 갱문의 주요변상 · 균열, 침하 등 ◦ 공중이 이용하는 부위 ◦ 결함원인분석을 위한 지상부조사	

주1) 볼트, 너트 등 고정장치가 적절히 체결되어 있는지 확인하며, 「철도시설의 정기점검등에 관한 지침」, 「기계설비유지관리기준」, 「기계설비 기술기준」 등에 따라 최근 1년 이내에 기타조사를 실시한 경우 그 결과 활용 가능

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

[표 2.5] 터널의 일반적인 정밀안전진단 항목 및 방법

점검부위	진 단 항 목	비고
터널 내부	○ 균열조사 - 위치, 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진행성여부 등 ○ Joint부 조사(조적식라이닝) - 위치, 크기, 진행성, Seal재열화 등 ○ 누수조사 - 위치, 누수량, 탁도, 수질 등 ○ 콘크리트라이닝 - 콘크리트 두께조사 - 콘크리트 강도 - 철근탐사 및 철근부식도 측정 - 결함 및 손상조사 · 파손 및 손상, 박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리, 철근노출 - 탄산화 및 염화물 함유량조사 ○ 내부결함 탐사 - 공동 및 공극 조사 - 강지보공 조사, 설치간격, 규격 등 ○ 터널 계측 - 내공변위, 단면측량, 라이닝응력측정, 변형률측정 ○ 지반상태 - 풍화정도, 일축압축 강도, R.Q.D. ○ 배수·공동구상태조사 - 배수상태 - 퇴적물 상태 - 덮개파손 상태 ○ 진동 및 소음 상태 ○ 하중상태의 변화 ○ 기타조사(환기설비, 조명시설 등¹⁾)	
	○ 균열조사 - 위치, 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진행성여부 ○ 누수조사 - 위치, 누수량, 탁도, 수질 등 ○ 콘크리트 강도 - 반발경도 시험, 일축압축강도 ○ 터널주변 조사 - 지표 및 지질조사 - 절토사면조사 - 토지이용조건 - 공중이 이용하는 부위 ○ 기타조사(결함원인분석을 위한 지상부조사)	
	- 표지판 여부 - 퇴적물 상태 - 안전 및 유지관리 계획여부, 청소상태 - 시설물 이력카드 작성 여부 및 보수이력 확인 - 진동 및 소음상태	
터널 외부	○ 균열조사 - 위치, 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진행성여부 ○ 누수조사 - 위치, 누수량, 탁도, 수질 등 ○ 콘크리트 강도 - 반발경도 시험, 일축압축강도 ○ 터널주변 조사 - 지표 및 지질조사 - 절토사면조사 - 토지이용조건 - 공중이 이용하는 부위 ○ 기타조사(결함원인분석을 위한 지상부조사)	
기타	- 표지판 여부 - 퇴적물 상태 - 안전 및 유지관리 계획여부, 청소상태 - 시설물 이력카드 작성 여부 및 보수이력 확인 - 진동 및 소음상태	

주1) 볼트, 너트 등 고정장치가 적절히 체결되어 있는지 확인하며, 「철도시설의 정기점검등에 관한 지침」, 「기계설비유지관리기준」, 「기계설비 기술기준」 등에 따라 최근 1년 이내에 기타조사를 실시한 경우 그 결과 활용 가능

5) 공중이 이용하는 부위 점검항목

점 검 부 위	점 검 항 목	비고
공중이 이용하는 부위	◦ 추락방지시설의 상태 ◦ 도로부 포장 및 신축이음부 상태 ◦ 환기구 등의 덮개 상태 ◦ 기타조사	

2.2.2 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

- 정밀안전점검 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, 소화진, 응급 대피소 등 현장에서 직접 확인 가능한 위치는 현장조사 전에 위치를 파악하여, 측점 분할함으로써 오차를 줄인다.

나. 단면 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 광과거리계에 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.

다. 내공변위 측정

1) 일반 사항

- 측정 목적은 터널 라이닝의 상대변위 및 집중현상을 측정하여 터널내부의 붕괴 예측과 굴착지반이나 구조물의 변위예측을 위하여 실시한다.
- 내공변위계는 앵커(Anchor)와 자(Tape)로 구성된다. 장점은 간편한 작동, 정량이므로 취급이 용이하다는 점이다

2) 조사수량 및 측정 방법

- 터널 정밀안전진단 시 내공변위 측정은 변위가 예상되거나 발생한 지점에 최소 1개소를 측정한다. 이때의 다이얼게이지의 눈금을 읽어 측정치로 하고 3회 반복 측정치의 산술 평균치를 측정치로 한다.
- 측정하고자 하는 지점에 앵커를 삽입시킬 수 있도록 천공한 다음 앵커를 삽입한 후 그라우팅이나 레진(Resin) 또는 시멘트 모르타르로 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.

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

- 타음검사
 - 햄머(Hammer)로 라이닝 표면을 타격하여 햄머의 반발방향과 타격음에 의해

이상 유무를 조사하는 수단으로 정성적인 방법이지만 적정한 라이닝두께의 유무, 배면공동의 유무, 박리부분의 검사, 압축파괴의 유무, 라이닝표면의 열화 상황을 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.
- 전자파법(레이다 탐사법, GPR)
 - 250MHz~2.5GHz정도의 전자파를 콘크리트중에 방사하여 라이닝 배면에서의 반사파를 잡아 그 파형을 해석하는 것으로 라이닝 콘크리트의 두께, 공동의 유무를 판정하는 방법이다.
- 라이닝 보링(Boring)조사
 - 라이닝 두께와 배면의 공동, 지질상황 등을 직접 보링(Boring)에 의해 조사하는 방법으로 사전에 위치, 깊이 등에 대해 충분히 검토하여 실시할 필요가 있다.
- 내시경조사
 - 보링(Boring)또는 드릴링에 의해 천공 후 공내에 내시경 조사장비를 삽입하여 라이닝 배면의 상황을 육안 관찰하는 방법이다.

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.

2) 조사수량 및 측정방법

- 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.
- 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 출력 기록장치로 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/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.
- 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.

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.

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. 갯문상태 조사

- 갯문은 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.

카. 공중이 이용하는 부위 조사

- 책임기술자는 추락방지시설, 도로부 포장 및 신축이음부, 환기구 등의 덮개와 같은 공중이 이용하는 부위가 대상시설물에 해당되는지 여부를 확인하고, 해당 부위의 결함조사를 실시한다.
단, 시설물에 공중이 이용하는 부위가 해당하지 않는 경우 책임기술자의 판단에 따라 조사부위를 제외할 수 있다.
- 대상시설물에 해당되는 공중이 이용하는 부위는 숙련된 점검자의 육안조사 또는 점검 로봇 등 활용한 외관조사 및 영상분석(법 시행령 별표 10의14)을 활용하여 결함 및 파손 등을 점검하고 각 평가항목 및 기준에 따라 중대한 결함 등의 해당 여부를 검토하여야 한다.
- 조사된 결함 및 파손 중 중대한 결함 등이 발견된 경우는 해당부위의 외관조사 망도 및 사진대지를 작성하여 「법」 제22조제2항에 따라 관리주체에게 통보하여야 한다.

2.3 재료시험 항목 및 수량

2.3.1 정밀안전점검

가. 재료시험 항목 및 평가방법

[표 2.6] 정밀안전점검의 재료시험 항목

구 분	기본과업	선택과업
콘크리트 라이닝	○ 측점분할 ○ 콘크리트 강도 - 비파괴 : 반발경도시험 ○ 탄산화깊이 측정 시험	○ 콘크리트 강도 - 국부파괴 : 코어강도 ○ 염화물함유량시험¹⁾

주1) 제1장 교량 1.3.1절 참조

[표 2.7] 정밀안전점검의 재료시험 평가방법

구 분	재료시험 항목	평가방법
기본과업	○ 측점분할	○ 신축이음부 또는 단면변화에 따라 책임기술자가 판단
	○ 콘크리트강도 - 비파괴 : 반발경도시험	○ 외관상 건전부위와 불량부위에 대한 비교평가 필요함
	○ 탄산화깊이 측정	○ 현장측정 ○ 탄산화속도계수 산정
선택과업	○ 콘크리트강도 - 국부파괴 : 코어강도	○ 콘크리트강도 평가의 기준 ○ 필요시 콘크리트 물성시험 등
	○ 철근탐사 시험 - 철근배근상태 - 철근피복두께	○ 구조검토를 위한 철근조사 ○ 콘크리트의 강도 및 물성시험 등을 위한 철근위치 탐사
	○ 염화물 함유량 시험	○ 시료채취 및 평가

나. 재료시험 기준수량

[표 2.8] 정밀안전점검 기본과업의 재료시험 기준수량

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

[표 2.9] 정밀안전점검 선택과업의 재료시험 기준수량

구 분	재료시험 기준수량	비 고
코어채취 ¹⁾		○ 실내시험 선택과업
염화물 함유량 시험	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	

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

2.3.2 정밀안전진단

가. 재료시험 항목

[표 2.10] 정밀안전진단의 재료시험 항목

구 분	기본과업	선택과업
콘크리트 라이닝	○ 측점분할 ○ 단면측량 ○ 콘크리트 강도 - 비파괴 : 반발경도시험, 초음파법 ○ 철근탐사시험 - 철근배근상태 - 철근피복두께 ○ 탄산화 깊이 측정 ○ 철근부식도시험 ○ 균열깊이조사 ○ 염화물함유량시험¹⁾	○ 콘크리트 강도 - 국부파괴 : 코어강도 ○ 내공변위 측정 ○ 진동 및 소음측정 ○ 변형률 측정 ○ 수질조사 및 침전물 분석 ○ 지표·지질조사 등 - 시추조사 - 지반탐사

주1) 제1장 교량 1.3.2절 참조

[표 2.11] 정밀안전진단의 재료시험 평가방법

구 분	재료시험 항목	평가방법
기본과업	○ 측정분할	○ 신축이음부 또는 단면변화에 따라 책임기술자가 판단
	○ 단면측량	○ 내공단면의 상태파악 ○ 종·횡단측량 및 선형측량
	○ 콘크리트강도 － 비파괴 : 반발경도시험, 초음파법	○ 외관상 건전부위와 불량부위에 대한 비교평가 필요함
	○ 철근탐사시험 － 철근배근상태 － 철근피복두께	○ 구조검토를 위한 철근조사 ○ 콘크리트의 강도 및 물성시험 등을 위한 철근 위치 탐사
	○ 탄산화깊이 측정	○ 현장측정 ○ 탄산화속도계수 산정
	○ 철근부식도시험	○ 주요부재의 철근 대상 ○ 철근부식확률 평가
	○ 염화물함유량시험	○ 시료채취 및 평가
	○ 균열깊이 조사	○ 철근 매입깊이 이상 발견 또는 관통 여부 등 평가
선택과업	○ 콘크리트 강도(국부파괴)	○ 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

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	○ 시험부위는 책임기술자가 판단) (단, 경년변화 평가시 동일부위 시험원칙)
초음파법		
철근탐사시험	○ 총연장 1,000m 미만 = 4개소 ○ 총연장 1,000m 이상 = 최초 4개소 + 500m당 1개소 추가	○ 가능한 한 이전의 시험부위와 중복 피함
염화물 함유량시험	<상 동>	
탄산화 깊이 측정	<상 동>	
철근부식도시험	○ 책임기술자의 판단에 따라 조사 및 수량 결정	
균열깊이 조사	○ 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정	

주1) 반발경도시험, 초음파법 또는 콘크리트 코어시험 결과를 비교할 경우에는 시험부위가 동일하여야 함

[표 2.13] 정밀안전진단 선택과업의 재료시험 기준수량

구 분	재료시험 기준수량	비 고
코어채취 ¹⁾	○ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	○ 실내시험 실시
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 상태평가기준 및 방법

2.4.1 상태평가기준

가. 개요

1) 기본시설물 및 부대시설물

터널의 기본시설물과 부대시설물은 [표 2.1]과 같다

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

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

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

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

나. 기본시설물 결함지수 산정기준

1) 기본시설물 상태평가 항목

터널 기본시설물 상태평가는 라이닝 및 철근콘크리트 구조물 상태평가와 터널주변 상태평가로 구분하여 실시하며 상태평가 시 고려해야할 주요 평가항목은 다음과 같다.

[표 2.14] 기본시설물 상태평가항목

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)

2) 기본시설물 결함지수 산정기준

기본시설물 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 상태평가결과를 산정하면 된다. NATM터널(철근콘크리트 라이닝)과 TBM터널(세그먼트 라이닝), 개착터널(철근콘크리트 구조물, 지하역사 포함), 지하차도의 정밀안전점검 시 선택과업인 염화물 함유량 시험이 미 실시된 경우에는 책임기술자의 판단에 따라 전차 보고서 자료를 활용하거나 라이닝 결함지수의 총점을 34점으로 조정하여 적용할 수 있다. 즉, 평가항목 중(특수조건 제외) 실시하지 않아도 되거나 공동구 등의 주변시설이 없는 경우는 해당 점수를 감하여 평가할 수 있다.

(가) 채래식터널(조적식 라이닝)

평가기준		a	b	c	d	e	
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	줄눈균열	0~2	3~5	6~8	9~11	12~13	
	누수	0	1	2	3	4~5	
	파손 및 손상	0	0	1	2	3	
	재질 열화	박리	0	0	1	1	1
		충분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
터 널 주 변	배수상태	문제가 없는 경우 : 0					
		배수불량 또는 막힘 : 1~2					
	지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3				
			영향범위 외 : 1				
	갯문상태	손상 : 0~1					
	공동구상태	문제가 없는 경우 : 0					
		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) = $\frac{\Sigma \text{결함점수}}{26}$, 터널결함지수 (F) = $\frac{\Sigma \text{결함점수}}{33}$							

(나) 채래식터널(무근콘크리트 라이닝)

평가기준		a	b	c	d	e	
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라이닝	균열	0~2	3~5	6~8	9~11	12~13	
	누수	0	1	2	3	4~5	
	파손 및 손상	0	0	1	2	3	
	재질 열화	박리	0	0	1	1	1
		충분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
터널 주변	배수상태	문제가 없는 경우 : 0					
		배수불량 또는 막힘 : 1~2					
	지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3				
			영향범위 외 : 1				
	갱문상태	손상 : 0~1					
	공동구상태	문제가 없는 경우 : 0					
		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	
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	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
	재질 열화	박 리	0	0	1	1	1
		충분리 및 박 락	0	0	1	2	3
		백 태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
터 널 주 변	배수상태		문제가 없는 경우 : 0				
			배수불량 또는 막힘 : 1~2				
	지반상태		영향범위 내 : 2 ~ 3				
			영향범위 외 : 1				
	갱문(접속부) 상태		손 상 : 0~1				
	공동구상태		문제가 없는 경우 : 0				
			덮개파손 및 오염됨 : 0.5				
			이물질 퇴적 및 침수 : 1				
특수조건		도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험 (추가점수) : 1~3					
$\text{라이닝 결함지수 (f)} = \frac{\Sigma \text{결함점수}}{27}, \text{터널결함지수 (F)} = \frac{\Sigma \text{결함점수}}{34}$							

(라) NATM터널(철근콘크리트 라이닝, 지하역사 포함)

평가기준		a	b	c	d	e	
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	균열	0~2	3~5	6~8	9~11	12~13	
	누수	0	1	2	3	4~5	
	파손 및 손상	0	0	1	2	3	
	재 질 열 화	박리	0	0	1	1	1
		충분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		탄산화	0	1	2	3	3
		염화물	0	1	1	2	2
터 널 주 변	배수상태	문제가 없는 경우 : 0					
		배수불량 또는 막힘 : 1~2					
	지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3				
			영향범위 외 : 1				
	갱문(접속부) 상태	손상 : 0~1					
	공동구상태	문제가 없는 경우 : 0					
		덮개파손 및 오염됨 : 0.5					
이물질 퇴적 및 침수 : 1							
특수조건		도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험 (추가점수) : 1~3					
$\text{라이닝 결함지수 (f)} = \frac{\Sigma \text{결함점수}}{36}, \quad \text{터널결함지수 (F)} = \frac{\Sigma \text{결함점수}}{43}$							

(마) TBM 터널(콘크리트 세그먼트 라이닝)

TBM(Tunnel Boring Machine)터널은 소규모 굴착장비나 발파방법에 의하지 않고 굴착에서 버림처리까지 기계화·시스템화되어 있는 대규모 굴착기계를 말하며, 일반적으로 Open TBM과 Shield TBM으로 구분한다.

평가기준		a	b	c	d	e	
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	균열	0~2	3~5	6~8	9~11	12~13	
	누수	0	1	2	3	4~5	
	파손 및 손상	0	0	1	2	3	
	재 질 열 화	박리	0	0	1	1	1
		충분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		탄산화	0	1	2	3	3
		염화물	0	1	1	2	2
터 널 주 변	배수상태	문제가 없는 경우 : 0					
		배수불량 또는 막힘 : 1~2					
	지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3				
			영향범위 외 : 1				
	갱문(접속부) 상태	손상 : 0~1					
	공동구상태	문제가 없는 경우 : 0					
		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) = $\frac{\Delta \text{결함점수}}{36}$, 터널결함지수 (F) = $\frac{\Delta \text{결함점수}}{43}$							

(바) 개착터널(철근콘크리트 구조물, 지하역사 포함)

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

평가기준		a	b	c	d	e	
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
철근	균열	0~2	3~5	6~8	9~11	12~13	
	누수	0	1	2	3	4~5	
콘크리트 구조물	파손 및 손상	0	0	1	2	3	
	재질 열화	박리	0	0	1	1	1
		충분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		탄산화	0	1	2	3	3
		염화물	0	1	1	2	2

터널 주변	배수상태	문제가 없는 경우 : 0				
		배수불량 또는 막힘 : 1~2				
	지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내 : 2 ~ 3			
			영향범위 외 : 1			
	갱문(접속부) 상태	손상 : 0~1				
	공동구상태	문제가 없는 경우 : 0				
		덜개파손 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(철근콘크리트 구조물)

지하차도, 지하정거장 및 지하역사에 대한 상태평가는 철근콘크리트구조물의 평가 방법에 준하여 적용한다.

지하차도의 부대시설물인 U-Type 옹벽의 상태평가는 제13장 「옹벽」에서 설정하고 있는 상태평가기준을 적용하여 각각 평가한다.

평가기준		a	b	c	d	e	
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
철근콘크리트 구조물	균열	0~2	3~5	6~8	9~11	12~13	
	누수	0	1	2	3	4~5	
	파손 및 손상	0	0	1	2	3	
	재질 열화	박리	0	0	1	1	1
		충분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		탄산화	0	1	2	3	3
염화물		0	1	1	2	2	
주변상태	배수상태	문제가 없는 경우 : 0					
		배수불량 또는 막힘 : 1~2					
	지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대			영향범위 내 : 2~3		
					영향범위 외 : 1		
	갱문(접속부) 상태	손상 : 0~1					

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

다. 부대시설물 결함지수 산정기준

1) 부대시설물 상태평가항목

터널 부대시설물은 기본시설물과 같이 무근 및 철근콘크리트로 구성되어 있으므로 상태평가 시 고려해야할 주요 평가항목은 다음 [표 2.15]와 같다.

부대시설물 중에 숏크리트, 록볼트 등으로 터널의 안전성이 확보되거나 지반이 견고하여 풍화의 우려가 없고 사용상 지장이 없어 콘크리트 라이닝을 생략한 경우에는 책임 기술자가 현장여건을 고려하여 상태평가항목 및 평가기준을 조정할 수 있다. 환기구 덮개의 경우 유지관리 조사 항목 및 내용은 건축물 세부지침을 준용하며, 환기구 덮개의 조사결과는 관리주체의 유지관리방안 제시에 활용한다.

[표 2.15] 부대시설물 상태평가항목

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

2) 부대시설물 결함지수 산정기준

터널 부대시설물 구조물 분류에 따른 상태평가를 위한 결함점수와 결함지수 산출 방법은 다음과 같다.

(가) 무근 콘크리트

평가기준		a	b	c	d	e
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$
균열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
누수		0	1	2	3	4~5
파손 및 손상		0	0	1	2	3
재질 열화	박리	0	0	1	1	1
	충분리 및 박락	0	0	1	2	3
	백태	0	0	1	1	1
	재료분리	0	0	1	1	1

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

(나) 철근 콘크리트

평가기준		a	b	c	d	e
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$
균열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
누수		0	1	2	3	4~5
파손 및 손상		0	0	1	2	3
재질 열화	박리	0	0	1	1	1
	충분리 및 박락	0	0	1	2	3
	백태	0	0	1	1	1
	재료분리	0	0	1	1	1
	철근노출	0	1	2	3	4
	탄산화	0	1	2	3	3
	염화물	0	1	1	2	2

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

3) 부대시설물 가중치

부대시설물 평가결과를 기본시설물을 포함한 전체시설물의 상태평가결과에 반영하기 위한 방법으로 다음과 같이 기본시설물과 별도로 부대시설물 결합점수에 따른 가중치를 정하였으며, 부대시설물 평가기준은 기존의 산정 개념과 유사하게 보수적인 관점에서 하위상태에 비중을 두어 산정한다.

부대시설물 가중치 적용은 기본시설물 결합지수(F)에 부대시설물 가중치(W)를 곱하여 전체 시설물의 결합지수(F)를 산정하고, 시설물 상태평가결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

$$\text{시설물의 결합지수(F)} = \text{기본시설물 결합지수(F)} \times \text{부대시설물 가중치(W)}$$

[표 2.16] 부대시설물의 가중치

가중치(W)	1.0	1.00	1.02	1.05	1.10
부대시설물 결합지수	$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$
시설물 상태평가	문제점이 없는 최상 의 상태	기능수행에 영향이 없으나 일부 보수가 필요한 상태	부재의 손상이 있으나 기본 시설물 기능 수행에 문제가 없는 상태	부재의 손상이 중대하여 기본시설물에 영향을 주는 상태	기본시설물의 기능수행에 문제를 일으켜 즉각적인 조치가 필요한 상태

부대시설물의 상태평가는 개별 부대시설물을 각각 평가한 후 산술평균하여 부대시설물 결합지수를 산정하고 부대시설물 상태평가결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

$$\text{부대시설물의 결합지수(f)} = \sum(f_n) / N$$

여기서, f_n : 개별 부대시설물의 상태평가 결합지수

N : 개별 부대시설물의 개수

부대시설물 상태평가결과 산정

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

2.4.2 상태평가항목 및 기준

가. 기본시설물 상태평가항목 및 기준

평가항목은 5단계로 세분하였고, 평가항목별 상태평가기준은 터널 상태평가결과와의 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 30m 전·후로 선정한 쉬트(Sheet)를 기준으로 한다. 터널 라이닝의 시공이음 및 신축이음, 철근과 무근의 경계, 단면변화로 인한 경계등으로 일부 단위 길이를 책임기술자의 판단으로 조정할 수 있다. 이는 단위 길이로 인한 상태평가 등급변화 요인을 배제하고자 함이다.

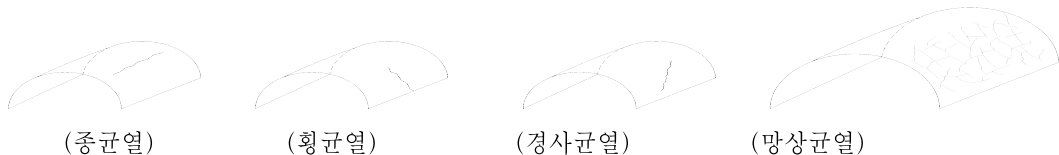
1) 균 열

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

주) 진행성 균열의 경우 상태평가결과가 "d" 이하 또는 고정 균열의 경우 면적을 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(정기안전점검) 결과를 활용하여 균열 단부의 확대폭 및 깊이, 단차의 시간에 따른 변화를 조사하여 판단한다.
- ② 균열형상은 종균열, 횡균열, 경사균열, 망상균열로 구분하며 횡균열을 제외한 균열의 평가는 균열이 다음 스팬(Span)에 연속적으로 이어져 있는 경우는 책임기술자의 판단에 의하여 평가 결과는 하향조정할 수 있다.



- ③ 균열의 발생위치는 천장부, 어깨부, 측벽부로 표기하며, 균열에 의한 단차가 발생하였거나 구조체를 관통하는 균열일 경우 책임기술자의 판단에 의해 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(정기안전점검) 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→e로 하향 조정할 수 있다.
 - 균열의 발생면적은 균열길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 한다.

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

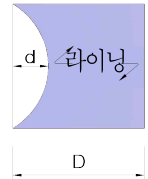
2) 누 수

평가기준 구 분	a	b	c	d	e
누 수	없 음	스며 있음	떨 어 짐	흐 름	분 출
	라이닝	균열			
	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 평가를 하향조정하도록 한다. 3) 노면에 토사유출 또는 동결이 발생되어 차량통행에 지장이 될 경우에는 평가를 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 계절적요인을 반영하여 평가할 수 있다. 6) 보수·보강부위는 누수상태(수질, 수량, 물흐름)의 변화 유무 등을 주기적인 점검(정기안전점검) 결과를 활용하여 평가할 수 있다. 7) 누수형상은 점상누수, 선상누수, 면상누수로 구분하며 누수위치는 천단부, 어깨부, 측벽부, 바닥부로 구분하여 평가함				

주) 상태평가결과가 "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

평가기준 구 분		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 (10cm×10cm미만)	중간 손상 (10cm×10cm이상, 30cm×30cm미만)	극심한 손상 (30cm×30cm이상)
조적식 라이닝	손상두께	없 음	벽돌부분 손상	벽돌 1개 이하	벽돌 1개 초과 ~2개 미만	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 산정하도록 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→b, b→c, c→d, d→e로 하향 조정할 수 있다.				



주) 파손 및 손상에 대한 면적율이 20% 이상으로 상태평가결과가 "d" 이하이면 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다. 여기서, 손상도 평가 시 기준면적은 설계두께의 2배와 같은 일변의 길이를 갖는 정사각형의 면적 또는 이와 동일한 면적을 갖는 독립된 부위를 말한다.

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

평가기준 구 분	a	b	c	d	e
박 리	없 음	6mm 미만	6mm 이상 25mm 미만	25mm이상 이거나 조골재 손실	박리가 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태
층분리 및 박락	없 음	깊이 12mm미만 또는 직경 75mm미만	깊이 12~25mm미만 또는 직경 75~150mm미만	깊이 25mm이상 또는 직경 150mm이상	박락이 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태
백 태, 재료분리	없 음	면적율 5%미만	면적율 5%이상 10%미만	면적율 10%이상 20%미만	면적율 20%이상
철근노출	없 음	면적율 1%미만	면적율 1%이상 3%미만	면적율 3%이상 5%미만	면적율 5%이상
탄산화 잔여깊이	30mm 이상	10mm 이상 30mm 미만	0mm 이상 10mm 미만	0mm 미만 (철근부식 발생 조건 만족)	0mm 미만 (철근부식도 조사 등을 통해 철근부식 발생 확인)
전염화물 이온량	0.3kg/m ³ 이하	0.3kg/m ³ 초과 1.2kg/m ³ 미만	1.2kg/m ³ 이상 2.5kg/m ³ 미만	2.5kg/m ³ 이상 (철근부식 발생 조건 만족)	2.5kg/m ³ 이상 (철근부식도 조사 등을 통해 철근부식 발생 확인)
해 설	1) 박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리는 콘크리트의 재질에 대한 평가로서 경년이나 주변환경 영향 등에 따라 열화되는 특성을 나타낸다. 2) 박리는 콘크리트 라이닝의 박리된 깊이를 기준으로 하며, 층분리 및 박락은 콘크리트 박리된 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 제1장 교량[표 1.28] 해설을 따른다. <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 상태평가기준 범위를 “a~e”로 한다. 염화물 함유량 분석은 철근 깊이까지 깊이별(10mm ~ 20mm)로 단계를 구분하여 염화물 분포를 파악함을 원칙으로 하며, 염화물 이온농도의 분포를 도식한다. <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→b, b→c, c→d, d→e로 하향 조정할 수 있다.				

주1) 탄산화 잔여깊이 또는 전염화물 이온량에 대한 상태평가결과가 “d”등급이고, 철근노출의 상태평가결과가 “e”등급이면 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

주2) 탄산화 잔여 깊이 또는 전염화물 이온량 등에 대한 상태평가기준이 “e” 판정인 경우 2.1.4절의 중대한 결함으로 본다.

5) 배수상태

구 분	문제가 없는 경우	배수불량 및 막힘 (배수시설 작동불량)
결함점수	0	1~2
해 설	1) 배수상태는 지하수를 유도하여 배수를 허용하는 배수형 터널의 경우에 한하며, 배수형터널이 아닌 경우에는 전문가의 판단에 따라 별도로 적용하도록 한다. 2) 배수된 물의 함유성분에 의한 오염이 우려되는 경우에는 수질을 조사하여 오염의 원인을 평가하도록 한다. 3) 배수된 물에 토사가 섞여 나오는 경우에는 계속적인 토사유출로 라이닝 배면에 문제가 발생할 가능성이 있으므로 토사유출량과 터널안정성에 대해 정밀조사하도록 한다. 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.	

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. (여기서, D는 터널의 직경을 의미함) 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) 이완도압, 편도압, 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) 갯문(접속부)상태

구 분	손 상	
	보통인 상태	불량한 상태
결함점수	0~0.5	1
해 설	1) 갯구부는 터널의 입출구부로서 차량의 통행에 직접적인 영향을 주기 때문에 갯문(접속부)상태를 반영하여 손상여부를 평가한다. 2) 갯문(접속부)의 평가방법은 일반 콘크리트구조물에서의 평가방법에 준하며, 특히 주변지반의 변화상태 등에 유의하여야 한다. 3) 갯문(접속부)에 심각한 손상이 발생한 경우, 주변 지반조사를 실시하여 손상원인을 규명 하도록 한다.	

주) 갯문(접속부)의 상태가 양호할 경우, 책임기술자 판단 하에 최소점수인 0점을 부여할 수 있다.

8) 공동구상태

구 분	문제가 없는 경우	뚝개파손 및 오염됨	이물질 퇴적 및 침수
결함점수	0	0.5	1
해 설	1) 통신케이블, 신호용케이블, 전기케이블 등의 보호를 위해 터널내에 설치되는 공간을 가리키며, 일반적으로 배수시설과 병행하여 시공된다. 2) 공동구의 오염상태, 뚝개파손, 이물질의 퇴적이나 침수 등을 조사하여 상태를 평가 하도록 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. 부대시설물 상태평가항목 및 기준

1) 균 열

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

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

<해 설>

기본시설물 균열 해설 참조

2) 누 수

기본시설물 누수 참조

3) 파손 및 손상

평가기준		a	b	c	d	e
구 분						
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 (10cm×10cm미만)	중간 손상 (10cm×10cm이상, 30cm×30cm미만)	극심한 손상 (30cm×30cm이상)
조적식 라이닝	손상두께	없 음	벽돌부분 손상	벽돌 1개 이하	벽돌 1개 초과 ~2개 미만	벽돌 2개 이상
해 설		기본시설물 파손 및 손상의 해설 참조				

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

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

기본시설물 재질열화 참조

다. 공중이 이용하는 부위의 상태평가항목 및 기준

1) 추락방지시설

평가기준	구분
a	○손상 및 결함 등이 없는 최상의 상태
b	○추락방지시설에 경미한 결함 및 파손이 발생하였으나, 기능에는 문제가 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 상태
c	○추락방지시설에 결함 및 파손으로 인하여 기능에 일부 문제가 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태
d	○고정부 및 연결부 파손 등으로 인해 추락방지시설의 진도 및 이탈이 발생 할 수 있어 즉각적인 보수·보강이 필요한 상태
e	○추락방지시설의 전반적 기능저하로 사용자의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지해야 하는 상태

2) 도로포장

평가기준	구분
a	○포장상태가 최상으로 차량의 주행에 문제가 없는 상태
b	○포장의 결함 및 파손이 미미하게 발생된 상태로 차량주행에 문제는 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태
c	○포장 결함 및 파손이 차량에 직접적인 파손을 유발할 정도는 아니나 차량 운전자에게 불쾌감을 유발할 수 있어 간단한 보수가 필요한 상태
d	○깊이 8cm이상의 포트홀에 의해 차량에 심각한 손상이 발생할 수 있어 즉각적인 보수가 필요한 상태 ○배수불량으로 인한 주행차로 상시 물고임으로 통행차량의 안전성 저하가 우려되는 상태
e	○도로포장 결함 및 파손 정도가 심각하고 차량주행이 불가하여 차량통행 제한 및 사용금지가 필요한 상태

3) 도로부 신축이음부

평가기준	구분
a	○ 신축이음부에 손상이 없는 상태
b	○ 신축이음 본체의 토사 및 이물질 퇴적, 고무판 노후, 후타재의 미세균열이 발생된 상태로 기능발휘에는 지장이 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태
c	○ 신축이음 본체의 유간사이 이물질로 기능불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화가 발생한 상태 또는 후타재의 균열이 50cm이하의 간격으로 발생하거나, 국부적인 박리, 박락, 파손이 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태
d	○ 신축유간 밀착으로 인한 거동불량 또는 신축유간이 넓어 차량통행에 지장을 초래할 수 있어 교체가 필요한 상태 ○ 신축이음의 파손 상태가 심각하여 차량통행 시 충격이 발생하는 등 긴급한 보수·보강이 필요한 상태
e	○ 신축이음부 본체 탈락으로 차량주행 시 파손을 유발하거나, 주행 중 사고의 원인이 될 수 있는 상태

4) 환기구 등의 덮개

평가기준	구분
a	○ 환기구 등의 덮개가 최상의 상태
b	○ 덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없고 기능성에 문제가 없는 상태 ○ 기능성에 문제가 없어 결함 및 파손에 대해 지속적 관찰이 필요한 상태
c	○ 덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능에 일부 문제가 발생하여 보수가 필요한 상태
d	○ 덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능이 상실되어 국부적인 교체 및 보강이 필요한 상태
e	○ 결함 및 파손 정도가 심각하거나 덮개 등이 탈락된 상태

2.4.3 상태평가결과 산정방법

가. 기본시설물 상태평가결과 산정

1) 제1단계 : 라이닝 결함지수(f) 산정

- ① 라이닝 단위길이별 평가항목에 대해 최저 평가결과와 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 평가항목에 대한 결함점수를 산술평균하여 구한다.

2) 2단계 : 라이닝 상태평가결과 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, 갯문, 공동구상태의 결함점수를 부여한다.
- ② 특수조건에 해당 될 경우에는 추가점수를 부여한다. 터널결함지수(F) 산정시 분모에 대한 영향은 고려하지 않는다.

4) 제4단계 : 터널 상태평가결과 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 상태평가결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.
- ③ 터널 상태평가결과 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) $0.75 \leq F$

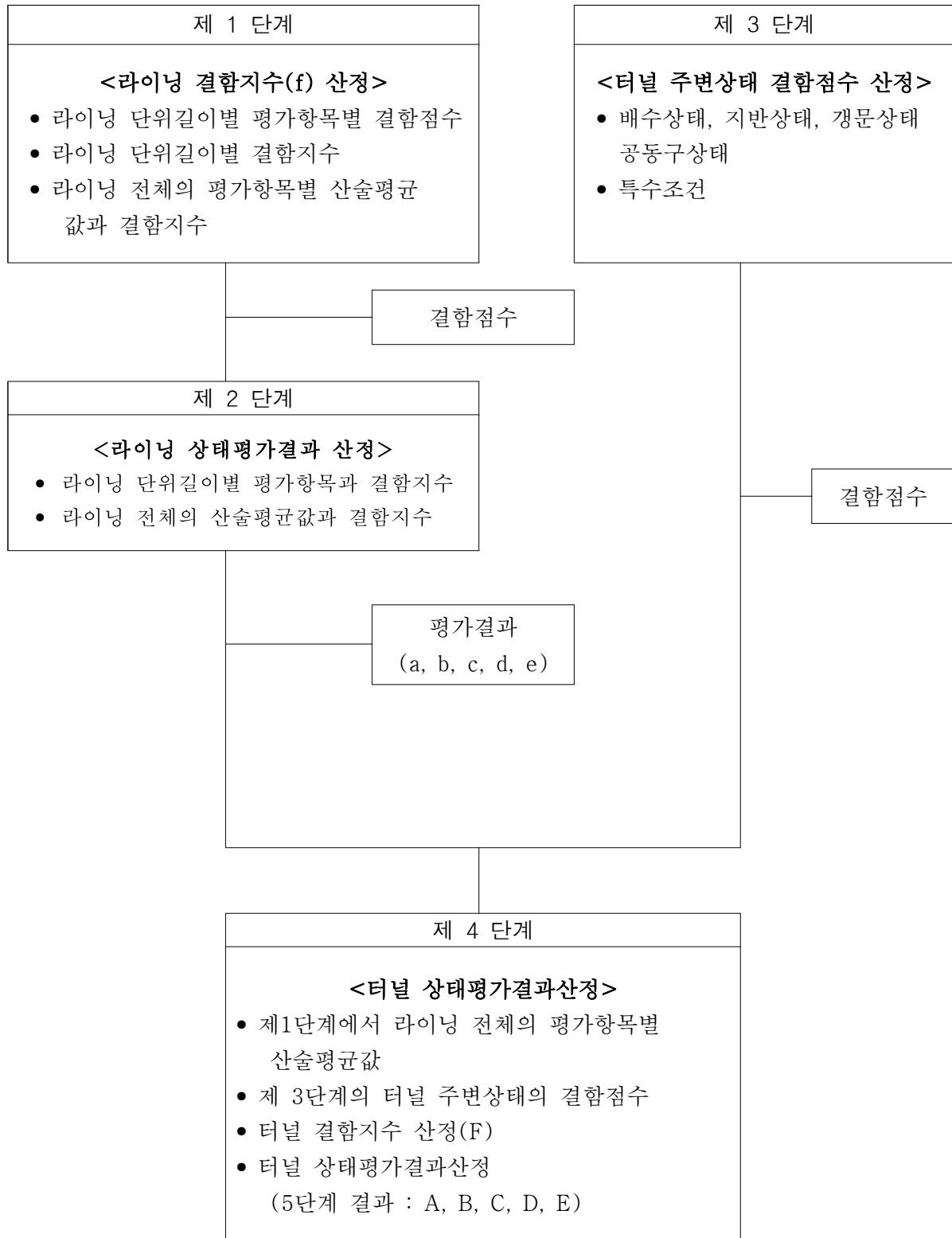
5) 조합시 연장별 평가방법

한 개의 터널에 여러 개의 구조형식이 있는 경우 다음과 같은 산정방법에 의해 상태 평가결과를 산정한다.

- ① 한 터널의 철근구간, 무근구간, 조적구간에 대해 제1단계의 라이닝 평가항목별 결함점수 산술평균값에 주변상태점수를 합하여 결함점수 산정후 각 구간별 결함지수를 각각 산정한다.
- ② 연장별 가중치를 산정한다. (연장별가중치 = 해당구간 연장/ 전체연장)
- ③ Σ (각 구간별 결함지수×연장별 가중치)를 구한 후 결함지수에 대한 5단계(A, B, C, D, E) 중 해당 상태평가결과를 산정한다.

라이닝 상태평가

터널주변 상태평가



[그림 2.2] 상태평가결과 산정절차

나. 부대시설물 상태평가결과 산정

1) 제1단계 : 부대시설물 결합지수(f) 산정

- ① 부대시설물 평가단위별 평가항목에 대해 최저 평가결과와 결합점수를 부여한다. 균열의 결합점수는 일반적으로 평균값으로 취하며 단차, 폭, 깊이 등을 고려하여 결정한다.
- ② 부대시설물 평가단위별 결합지수를 구한다
- ③ 부대시설물에 대한 결합지수(f)를 구한다. 이때에 부대시설물 평가항목에 대한 결합점수를 산술평균하여 구한다.

2) 2단계 : 전체 부대시설물 상태평가결과 산정

- ① 부대시설물별 평가항목과 결합지수에 대한 평가를 5단계(a, b, c, d, e)로 매긴다.
- ② 평가항목(산술평균값)과 결합지수(f)에 대한 평가를 5단계(a, b, c, d, e)로 매긴다.
- ③ 개별 부대시설물을 각각 평가한 후 산술평균하여 부대시설물 결합지수를 산정하고 전체 부대시설물 상태평가결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

$$\text{부대시설물의 결합지수}(f) = \sum(f_n) / N$$

여기서, f_n : 개별 부대시설물의 상태평가 결합지수

N : 개별 부대시설물의 개수

3) 3단계 : 전체 시설물 상태평가결과 산정

- ① 기본시설물 결합지수(F)에 부대시설물 가중치(W)를 곱하여 전체 시설물의 결합지수(F)를 산정하고, 시설물 상태평가결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

$$\text{시설물의 결합지수}(F) = \text{기본시설물 결합지수}(F) \times \text{부대시설물 가중치}(W)$$

[표 2.17] 부대시설물의 가중치

가중치(W)	1.00	1.00	1.02	1.05	1.10
부대시설물 결합지수	$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$
시설물 상태평가	문제점이 없는 최상 의 상태	기능수행에 영향이 없으나 일부 보수가 필요한 상태	부재의 손상이 있으나 기본시설물 기능수행에 문제가 없는 상태	부재의 손상이 중대하여 기본시설물에 영향을 주는 상태	기본시설물의 기능수행에 문제를 일으켜 즉각적인 조치가 필요한 상태

다. 상태평가결과 산정 예시

NATM(무근)터널(연장 150m로 단위길이 30m의 Sheet 5개로 작성)로 탄산화, 염화물, 철근노출의 점수를 배제한 27점의 분모점수를 반영하여 평가한 예이다. 상태평가의 근거 자료 확인을 위해 결함점수가 부여된 결함물량 집계표는 외관망도 또는 부록에 수록하여야 한다.

부대시설물 평가단위별 평가항목에 대해 최저 평가결과의 결함점수를 부여한다.

1) 제1단계 : 라이닝 결함지수 산정

Sheet No.	균열	누수	파손 및 손상	재 질 열 화				결함점수 합 계	라이닝 결함지수
				박 리	충분리 및 박락	백 태	재료 분리		
1	7	3	1	1	2	1	0	15	0.56
2	4	4	1	1	1	1	0	12	0.44
3	4	2	1	1	1	0	0	9	0.33
4	7	5	1	1	1	1	0	16	0.59
5	4	1	0	1	2	0	0	8	0.30
산술평균	5.2	3.0	0.8	1.0	1.4	0.6	0.0	12.0	0.44

- ① "Sheet No 1"의 평가항목에 대한 최저등급의 결함점수를(균열 c-7, 누수 d-3, 파손 및 손상 c-1, 박리 d-1, 충분리 및 박락 d-2, 백태 e-1, 재료분리 b-0) 부여한다. 라이닝의 결함점수 15점을 구한다.
- ② "Sheet No 1"의 라이닝의 결함지수를 구한다. 이때에 무근콘크리트 라이닝 결함지수(Σ 결함지수(15점)/27=0.56)를 구한다.
- ③ 상기 1) 2)와 같은 방법으로 나머지 Sheet에 대하여 구한다. 라이닝 5개 Sheet의 평가항목에 대한 산술평균값을 구한후 라이닝 결함지수를 구한다.
 - 평가항목 결함점수 : 균열 5.2, 파손 및 손상 0.8, 누수 3.0, 박리 1.0, 충분리 및 박락 1.4, 백태 0.6, 결함점수 합계 12점
 - 라이닝 결함지수(f) : $0.44(12/27=0.44)$

2) 제2단계 : 라이닝 상태평가결과 산정

Sheet No.	균열	누수	파손 및 손상	재 질 열 화			
				박 리	충분리 및 박락	백 태	재료분리
1	c	d	c	d	d	e	b
2	b	e	c	e	c	e	b
3	b	c	c	d	c	b	b
4	c	e	c	d	c	e	b
5	b	b	b	b	d	b	b

- ① 라이닝 쉬트별 평가항목과 결함지수에 대한 결과를 5단계(소문자 a, b, c, d, e)로 산정한다.

3) 제3단계 : 터널 주변상태 및 특수조건 결함점수 산정

항목	터널 주변상태				특수조건	합계
	배수상태	지반상태	갱문상태	공동구 상태		
결함점수	1	2	1	1	1	6

① 배수상태는 오염되어 1점, 지반상태는 풍화변질 및 단층파쇄대가 영향범위 내에 위치하여 2점, 갱문상태는 손상되어 있어 1점, 공동구에 이물질 퇴적 및 침수가 발생되어 1점을 부여한다.

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

4) 제4단계 : 터널 상태평가결과 산정

항목	라 이 닝							터 널 주 변					합계
	균열	누수	파손및 손상	재 질 열 화				배수 상태	지반 상태	갱문 상태	공동구 상태	특수 조건	
				박 리	충분리 및 박락	백 태	재료 분리						
결함 점수	5.2	3.0	0.8	1.0	1.4	0.6	0.0	1	2	1	1	1	18.0

결함지수	0.53
상태평가결과	C

① 제1단계의 라이닝 결함지수 산정시 사용한 평가항목별 결함점수 산술평균값과 (결함점수 : 균열 5.2, 누수 3.0, 파손 및 손상 0.8, 박리 1.0점, 충분리 및 박락 1.4 점, 백태 0.6점, 재료분리 0.0점 합계12점), 터널주변 상태평가 결함점수(결함점수 : 1+2+1+1+1=6점)을 합하여 18점을 구한다.

② 터널 결함지수{결함지수(F) : Σ 결함점수(18점)/34=0.53}를 구한 후 결함지수에 대한 5단계(A, B, C, D, E)등급중 해당등급(C급)을 매긴다.

2.5 안전성평가기준 및 방법

2.5.1 일반

가. 개요

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

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 규명함과 더불어 안전성 여부를 판단하여야 한다.

안전성 평가를 위하여 기본과업 이외의 필요한 계측, 측정, 조사 및 시험 등의 선택 과업을 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

나. 안전성평가방법

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.

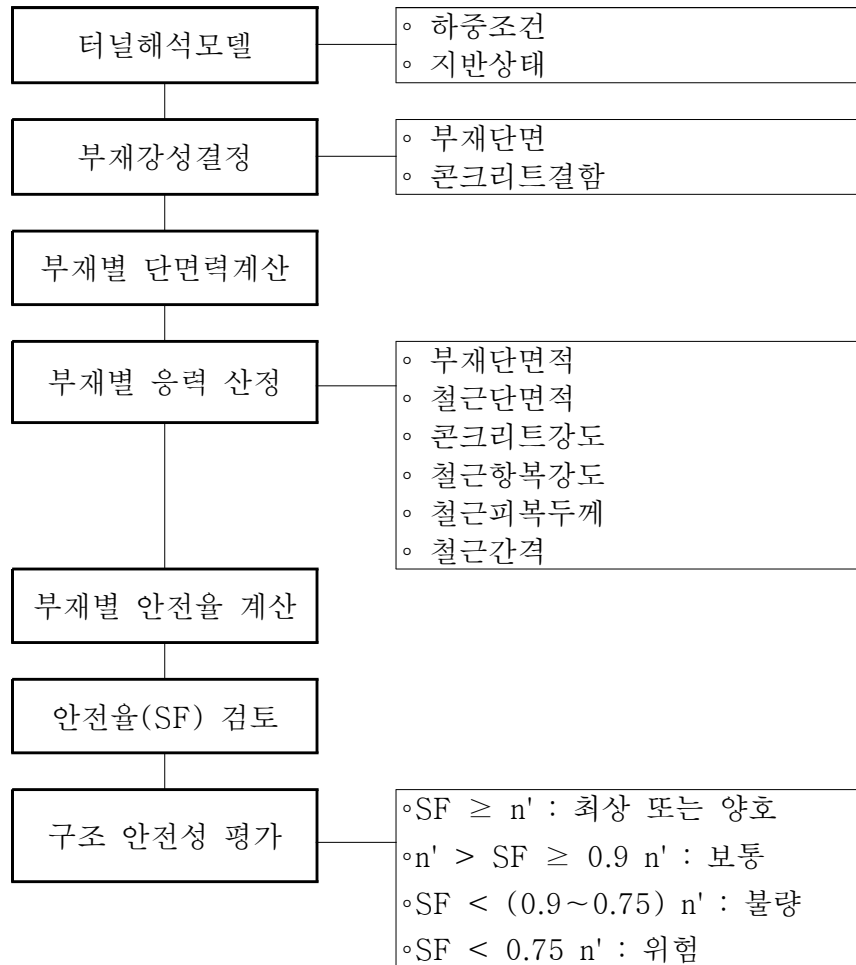
구조물의 해석 시 안전여유율이 고려되어 있으므로 현재상태의 구조물에 대한 구조해석 결과가 「건설기준코드」의 안전도 기준에 미흡하다고 해서 구조물이 불안전 하다는 것이 아니라 단지, 구조물의 안전여유율이 적다는 것을 의미한다.

따라서 구조해석에 의한 구조물의 안전성 평가는 현재상태의 구조물이 얼마나 안전여유율을 확보하고 있는지의 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 산정절차를 그림으로 도시하여 표현하면 [그림 2.3]과 같다.



[그림 2.3] 안전성평가결과 산정절차

다. 내진성능평가

「법」 제12조제4항에 따라 내진성능평가를 실시할 경우 세부지침 부록 1. 내진성능평가 공통적용사항과 부록 3. 내진성능평가 세부지침(터널) 등에 따라 시설물의 내진성능을 만족시키도록 내진성능평가를 수행하며, 관련 문헌을 참고할 수 있다.

2.5.2 안전성평가기준

정밀안전점검(필요시)이나 정밀안전진단 시에는 안전성평가결과를 산정한다.

정밀안전점검의 경우에는 라이닝 상태평가 시 터널안전성에 직접 관련된 주요 구조부재의 손상항목이 D급 이하로 판정되거나 혹은 전문가에 의해 안전성평가 요구가 있을 경우 원인분석을 위한 구조검토 결과에 따라 안전성평가결과를 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 상태평가결과가 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 구조 해석에 필요한 경계조건, 지반상수 등은 설계·준공도서 또는 지반조사에 의해 얻거나 구조물의 설계기준 등에 나와 있는 값을 참고하여 구한다.

상기와 같은 내용을 근간으로 검토한 휨, 전단, 압축 등의 구조적 최저 안전율 정도에 따라 구조물의 안전성에 대한 평가기준을 설정하면 다음 [표 2.18]과 같다.

[표 2.18] 시설물의 안전성평가기준

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

2.5.3 안전성평가결과 산정 방법

가. 안전성평가결과 산정

1) 개착터널(BOX, 지하차도 등), TBM 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 등은 안전율 산정이 가능하므로 [표 2.18]과 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 : $0.90 \leq SF < 1.0$
 - D급 : $0.75 \leq SF < 0.90$
 - E급 : $SF < 0.75$

여기서, 강도설계법 안전율 : $SF = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\phi M_n}{M_u}$

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

2) 굴착터널(Mined Tunnel : 채래식, NATM 터널)

굴착터널에 대한 안전성 평가는 설계개념의 안전율을 도입했을 경우에는 안전율 산정이 가능하므로 [표 2.18]과 같은 방법으로 안전성평가결과를 산정한다. 그러나 설계개념의 안전율을 도입하지 않은 경우에는 터널상태평가 시 지반상태와 라이닝변상 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 안전성평가결과가 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 안전성 평가를 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 지반 조사에 의하여 획득될 경우 터널의 라이닝에 작용하는 하중조건과 터널라이닝의 변상 상태를 역해석적 방법이나 일반적인 라이닝 구조해석 방법으로 터널의 안전성을 제시할 수 있다.

이런 경우 콘크리트 라이닝의 강도특성과 지반특성을 수치해석에 반영하여 터널 라이닝의 설계기준강도와 대비하여 안전율을 판단하여 안전성여부를 평가하는데 참고 자료로 활용한다.

나. 안전성평가결과 산정 방법

1) 안전율을 도입한 경우의 방법

개착터널과 굴착터널 중 설계당시 안전율을 도입한 경우에는 안전성평가결과 산정 방법을 다음과 같이 예시 하였다.

[표 2.19] 터널의 안전성평가결과 산정(개착터널) 예

시설물 안전성평가결과 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 안전성평가결과 = C		

[표 2.20] 터널의 안전성평가결과 산정(채래식 터널) 예

시설물 안전성평가결과 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 안전성평가결과 = A		

2) 안전율을 도입하지 않을 경우의 방법

안전율을 도입하지 않은 경우 수치해석에 의한 안전성평가방법은 다음과 같다.

[표 2.21] 터널의 안전성평가결과 산정(NATM터널) 예

시설물 안전성평가결과 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
- 힘압축응력	12 kgf/cm ²	안전	
- 전단응력	5.19 kgf/cm ²	안전	
안전성평가 결과	◦ 안전성 평가결과 : 안전 ※ 굴착터널에서 안전성평가를 정량적으로 표시할 수 없는 경우는 정성적으로 표시함.		

2.6 종합평가기준 및 방법

2.6.1 종합평가기준

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 종합평가결과로 결정한다.

2.6.2 종합평가결과 산정 방법

가. 종합평가 산정 절차

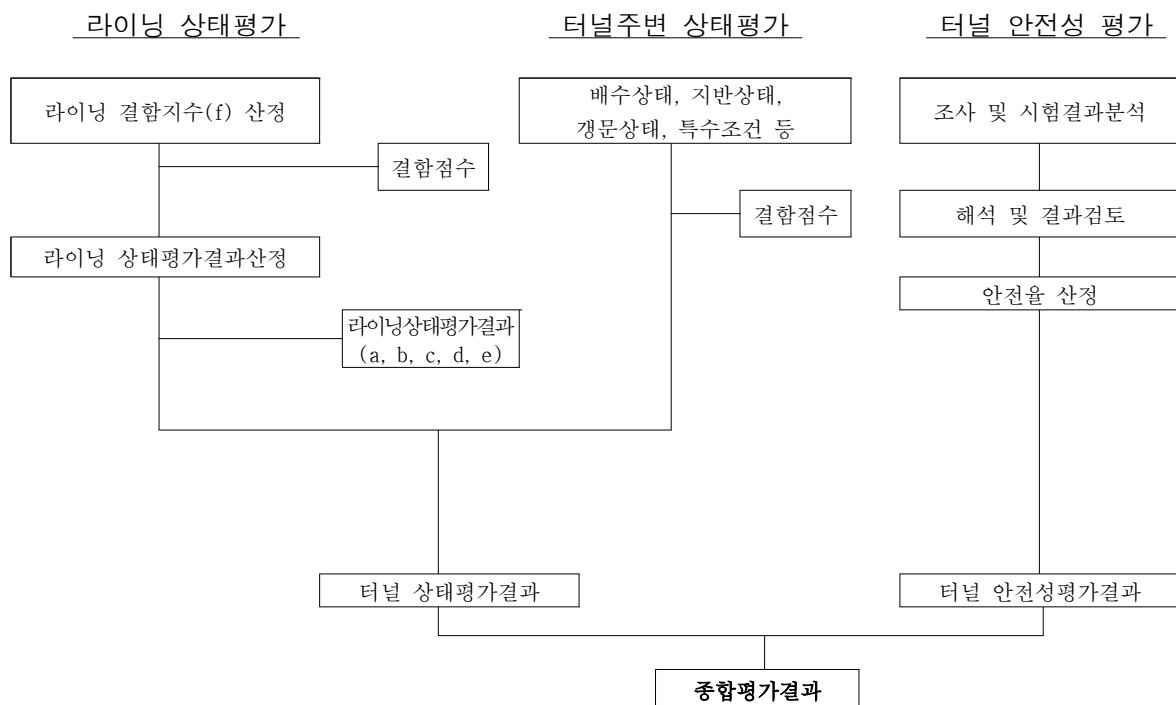
터널 상태평가와 안전성평가결과 2개 등급 중 최저등급을 터널 종합평가결과로 하여야 하고 [그림 2.4]의 절차에 따라 결정한다.

1) 정밀안전점검

터널 라이닝 상태평가와 터널 주변상태평가(필요시)를 종합하여 터널 상태평가결과를 결정하며, 터널 안전성평가를 시행한 경우에는 상태평가결과와 안전성평가결과를 비교하여 최저등급을 터널 종합평가결과로 결정한다.

2) 정밀안전진단

터널 상태평가결과(라이닝 상태평가+터널주변 상태평가)와 안전성평가결과 중 최저등급을 터널 종합평가결과로 결정한다.



[그림 2.4] 시설물의 종합평가결과 산정 절차

나. 종합평가결과 산정 방법

터널에는 분야별로 크게 개착터널, 굴착터널로 분류하여 설계당시 안전율을 도입한 경우의 종합평가결과 산정 방법과 안전율을 도입하지 않은 경우 종합평가방법 등은 다음과 같다.

[표 2.22] 터널의 종합평가결과 산정(개착터널) 예

시설물 종합평가결과 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 안전성평가결과를 표시함. ○ 터널의 종합평가결과 : C			

[표 2.23] 터널의 종합평가결과 산정(재래식 터널) 예

시설물 종합평가결과 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	○ 굴착터널에서 안전성평가를 정량적으로 표시할수 있는 경우는 등급으로 표시함. ○ 터널의 종합평가결과 : C			

[표 2.24] 터널의 종합평가결과 산정(NATM터널) 예

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

2.7 보수·보강 방법

터널 시설물의 주요 보수·보강 방법을 소개하면 다음과 같다.

2.7.1 균열에 대한 보수공법

콘크리트의 균열은 구조물의 내구성 및 사용성에 영향을 미칠 수 있으므로 균열의 원인을 분석하여 표면처리공법, 주입공법, 충전공법 등의 적절한 대책이 필요하다.

2.7.2 누수에 대한 보수공법

콘크리트의 누수는 구조물의 기능장애와 노후화의 원인이 될 수 있으므로 누수의 원인을 분석하여 지수공법, 유도배수공법, 차수공법 등의 적절한 대책이 필요하다.

2.7.3 철근부식에 대한 보수공법

일반적으로 철근콘크리트 구조물에서 철근부식이 발생하면, 부식의 원인을 분석하여 방청공법, 단면복원공법, 교체공법 등의 대책이 필요하다.

2.7.4 콘크리트 탄산화 부위에 보수공법

콘크리트의 탄산화는 콘크리트의 수밀성을 떨어뜨리며, 철근콘크리트 구조물의 강재 부식 원인이 될 수 있으므로 단면보수공법, 부식저항성 증진 공법 등의 대책이 필요하다.

2.7.5 동해에 대한 보수공법

동해대책공은 누수대책공, 단열공법, 가열공법 등으로 터널의 환경조건에 따라 효율성, 내구성 및 경제성을 고려하여 적절한 대책공을 선정한다.

동해대책공의 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.

2.7.6 배면공동에 대한 보수공법

터널 라이닝 배면 충전시 배수터널의 경우 배수기능 저하 및 막힘 현상에 대하여 충분히 고려하여야 한다.

2.7.7 라이닝 재료열화에 대한 보수공법

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 내적요인으로서는 콘크리트의 시멘트량이 부족한 경우, 간혹 나타나는 골재의 알칼리 골재반응, 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 2.25]. [표 2.26]과 같다.

[표 2.25] 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_2O 가 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
		외적요인	콘크리트의 건조속도가 빠름	초기양생을 충분히 실시

[표 2.26] 콘크리트 라이닝의 보수·보강 공법 선정표

○ : 적용가능공법

△ : 응급조치 또는 타공법과 병용필요 공법

위치	공법 열화 상황		표 면 청 소	깨 어 내 기	보 강 판	철 망 공	라이닝		보 강 새 들	개 축	탄소섬 유보강 공	비 고
							뿔어붙임 콘크리트	현장 타설				
아 치 부	국부적	소	△	○	○	○					○	
		대	△	○	△	△	○	○	△	○	○	
	광범위	소	△	○	△	△	○	○	△	○	○	
		대	△	△	△	△	○	○	△	○	△	
측 벽 부	국부적	소	△	○							○	
		대	△	○						○		
	광범위	소	△	○			○	○			○	
		대	△	△			○	○	△	○		
표면의 오염			○									
비 고			(주1)	(주1)	(주2)	(주2)	(주4)	(주3)	(주3)	(주5)	(주4)	

* · 노후화범위 구분 : - 국 부 적 : 노후화 범위 10m² 미만

- 광 범 위 : 노후화 범위 10m² 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

주1) △ : 다른 보수 공법의 전 처리로 시행

주2) 새들, 내부 라이닝 등의 내공여유가 없는 경우에도 적용

주3) 라이닝 내력 증가 필요, 내공단면 여유 있는 경우

주4) 라이닝 내력 증가 필요, 내공단면 여유없는 경우

주5) 노후화 정도가 라이닝 두께 1/2 이상인 경우

2.7.8 라이닝에 대한 보강공법

- 1) 탄소섬유 및 플레이트(plate) 부착
- 2) 라이닝 콘크리트 두께 보강에 의한 보수
- 3) 지보공에 의한 보강 등