
제2장 터 널

2.1 관리일반

2.2 현장조사

2.3 재료시험 항목 및 수량

2.4 안전성능 평가기준 및 방법

2.5 내구성능 평가기준 및 방법

2.6 사용성능 평가기준 및 방법

2.7 종합평가기준 및 방법

제2장 터널

2.1 관리일반

2.1.1 적용 범위

본 장은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「법」이라 한다) 제40조 및 같은 「법」 시행령(이하 「령」이라 한다) 제28조에서 정하고 있는 시설물 중 터널에 적용한다.

터널 시설물은 그 특성에 따라 본 장과 서식을 적절히 응용하여 성능평가를 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 관리주체와 사전협의하여 적용할 수 있다.

2.1.2 용어 정의

- 터널
 - 지표면 하에 축조되는 도로나 공간으로 이용하는 지하구조물로서 단면적 2m² 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.
- 본선라이닝
 - 벽돌, 콘크리트 블록, 무근 또는 철근 콘크리트로 구축되는 터널의 가장 내측에 시공되는 터널의 주요부재를 말한다.
- 갱문
 - 터널의 갱구를 보호하기 위하여 출입구에 설치하는 문 모양의 구조물을 말한다.
- 굴착터널
 - 지반을 굴착하여 만들어진 터널을 말하며 지반의 강도에 따라 암반터널, 토사터널, 연약지반터널 등으로 구분된다.
- 개착터널
 - 지표면에서부터 굴착하고 터널식 구조물을 완성한 후 다시 매립한 터널을 말한다.
- 배수시설
 - 구조물이나 그 부대설비를 건전히 유지·관리하기 위하여 구배를 이용하여 지표수나 지하수, 터널 내 청소수 등을 자연적으로 흐르게 만든 시설물을 말한다.
- 공동구
 - 전기·가스·수도 등의 공급설비, 통신시설, 하수도시설 등 지하매설물을 공동수용함으로써 미관의 개선, 도로구조의 보전 및 교통의 원활한 소통을 위하여 설치하는 시설물을 말한다.
- 연직갱 및 경사갱
 - 터널 내 공기질을 유지하기 위하여 신선공기를 흡기 또는 급기하거나 오염공기를 배출하기 위해 설치하는 시설물을 말한다.
- 피난연락갱
 - 터널에서의 화재 등 각종 재해로부터 사람이 안전한 장소로 이동하기 위하여 터널의 갱도끼리 서로 연결하는 갱도를 말한다.
- 건축한계
 - 터널의 이용목적을 원활하게 유지하기 위한 한계이며 열차 또는 차량을 위한 건축한계 내에는 시설물을 설치할 수 없도록 규제한 것을 말한다.
- 내공변위량
 - 터널굴착으로 발생하는 터널 내공의 변화량으로 통상 내공단면의 축소량을 양(+)의 값으로 표현한 값을 말한다.
- 단층
 - 지각의 응력에 의하여 생긴 일정 규모 이상의 전단파괴면에서 양측에 상대적으로 어긋남을 가지는 선상 또는 대상의 부분을 말한다.
- 대피통로
 - 터널 내의 화재 시 안전지역으로 대피자를 탈출시키기 위한 공간으로 터널과 평행한 서비스터널이나 경사갱 및 연직갱을 말한다.
- 대피로

- 터널 전구간 내 70cm 이상의 대피공간
- 물리탐사
 - 물리적 수단에 의하여 지질이나 암체의 종류, 성상 및 구조를 조사하는 방법으로서 탄성파탐사, 전기탐사, 중력탐사, 자기탐사, 전자탐사 및 방사능탐사 등을 말한다.
- 바닥부
 - 터널단면의 바닥 부분을 말한다.
- 불연속면(discontinuities in rock mass)
 - 모든 암반 내에 존재하는 절리, 퇴적암에 존재하는 층리, 변성암에 존재하는 엽리, 대규모 지질구조와 관련된 단층과 파쇄대 등 암반에서 나타나는 모든 연약면을 말한다.
- 세그먼트(segments)
 - 터널, 특히 쉴드터널공법에 사용되는 라이닝을 구성하는 단위조각으로, 재질에 따라 강판을 용접한 강제 세그먼트, 철근콘크리트제의 콘크리트 세그먼트, 주조에 의하여 제조된 주철 세그먼트 및 콘크리트 세그먼트의 단면에 지벨이 붙은 강판을 배치한 합성 세그먼트 등을 말한다.
- 샷크리트(shotcrete)
 - 굳지 않은 콘크리트를 가압시켜 노즐로부터 뿜어내어 소정의 위치에 부착시켜 시공하는 콘크리트를 말한다.
- 스프링 라인(spring line)
 - 터널의 상반 아치의 시작선 또는 터널단면 중 최대폭을 형성하는 점을 종방향으로 연결하는 선을 말한다.
- 신호기
 - 운행 중인 차량이나 열차에 통행의 우선권 등 포괄적인 지시를 하는 장치를 말한다.
- 어깨(shoulder)
 - 터널의 천장과 스프링 라인의 중간점을 말한다.
- 접속부
 - 단면의 형태 및 규모가 같거나 다른 터널이 서로 접속되는 구간을 말한다.
- 천장부(crown)
 - 터널의 천단을 포함한 좌우 어깨 사이의 구간을 말한다.
- 천단침하
 - 터널굴착으로 인하여 발생하는 터널 천장의 연직방향 침하를 말하며, 기준점에 대한 하향방향의 절대 침하량을 양(+)의 천단 침하량으로 정의한다.
- 측벽부(wall)
 - 터널어깨 하부로부터 바닥부에 이르는 구간을 말한다.
- 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.
- 채래식터널
- 숏크리트, 방수지 등이 없이 굴착 후 강지보를 설치하여 굴착으로 인한 이완 영역의 하중을 라이닝이 지지하도록 설계한 터널을 의미하며, 목재 및 강재 지보를 사용한 마제형 철도터널이 이에 해당된다.
- 연결터널(환기시설)
- 환기시설과 본선터널을 연결하는 터널이다.
- TBM(Tunnel Boring Machine)
- 디스크커터 및 커터비트가 장착된 전면의 커터헤드에 의해 지반을 전단면으로 굴착할 수 있는 기계를 의미한다.
 - 그리퍼로 굴착면을 지지한 채 굴진하는 Open TBM은 주로 암반구간에 사용하며, 기 조립된 세그먼트에 유압 추진책의 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.
- 스팬(Span)
- 라이닝 횡방향 시공이음과 시공이음 사이의 영역으로 한 개의 거푸집에서 동일 시공환경으로 시공된 구조물 단위로 정의한다.
 - 또한, 임의 시공이음으로부터 형식이 다른(환기구, 연결터널 등) 이음 등으로 설정할 수 있다.
- 쉬트(Sheet)
- 상태안전성능 평가를 위한 최소단위를 의미하며 2~4개의 스팬을 한 장의 외관 조사망도로 표현하여 정의한다.
 - 30m 전·후로 책임기술자가 조정하여 상태평가 등급간 변동이 발생되지 않도록 하여야한다.
- 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 시설물의 부대 시설에 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)을 말한다.

2.1.3 성능평가 실시 범위

터널은 크게 기본시설물, 부대시설물로 구분되며 기본시설물은 갯문, 굴착터널(굴착 구간) 라이닝, 개착터널(개착구간) 라이닝, 터널주변(배수시설, 공동구 등)으로 구성되어 있으며, 부대시설물은 연직갱 및 경사갱, 환기구, 피난연락갱, 연결터널(환기시설) 등으로 구성되어 있다.

터널시설물의 성능평가 실시 범위에 대한 세부적인 대상시설은 아래 표와 같다.

[표 2.1] 성능평가 대상시설물의 세부범위

구분	시설물명	비고
기본시설물	갯문	재래식터널 NATM터널 SHIELD터널 개착터널에 공통적용
	굴착터널(굴착구간) 라이닝	
	개착터널(개착구간) 라이닝	
	터널주변(배수시설, 공동구 등)	
부대시설물	연직갱 및 경사갱	
	환기구 ¹⁾	
	피난연락갱	
	연결터널(환기시설)	
공중이 이용하는 부위	추락방지시설	
	도로포장	
	도로부 신축이음부	
	환기구 등의 덮개	

주1) 역사(건축물) 내에 있는 환기구는 제외함

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 판정할 수 있는 경우

2) 시설물의 철근콘크리트의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실

○ 내구성능 평가지표 중 탄산화 깊이 또는 콘크리트 염화물 침투량에 대한 기준이 “e” 이하인 경우

○ 철근노출에 대한 상태안전성능 평가기준이 “e”를 포함하는 경우

3) 균열 심화 및 탈락

- 상태안전성능 평가지표 중 진행성 균열에 대한 기준이 “d” 이하이며, 면적률이 20% 이상인 고정 균열에 대한 기준이 “e”인 경우
- 상태안전성능 평가지표 중 면적률이 20% 이상인 파손 및 손상에 대한 기준이 “d” 이하인 경우
- 세그먼트라이닝에서 세그먼트간의 단차가 35mm이상 또는 링간의 단차가 50mm이상인 경우

4) 라이닝부위 심한 누수 및 변형

- 상태안전성능 평가지표 중 누수에 대한 기준이 “d” 이하이며, 토립자가 함께 나와 구조적 결함을 유발시킬 수 있거나 고드름 및 측빙 등으로 차량통행에 현저한 지장을 주는 경우
- 터널의 변형정도가 안전등급 기준 “D” 이하로 판정할 수 있는 경우

5) 시공이음부 천단 반원형 균열의 박락

- 시공이음부에 천단의 반원형 균열의 폭이 1mm이상이며 타음시 움직임이 확인된 경우 책임기술자 해당 결함을 박락위험성을 고려하여 중대결함으로 판단할 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

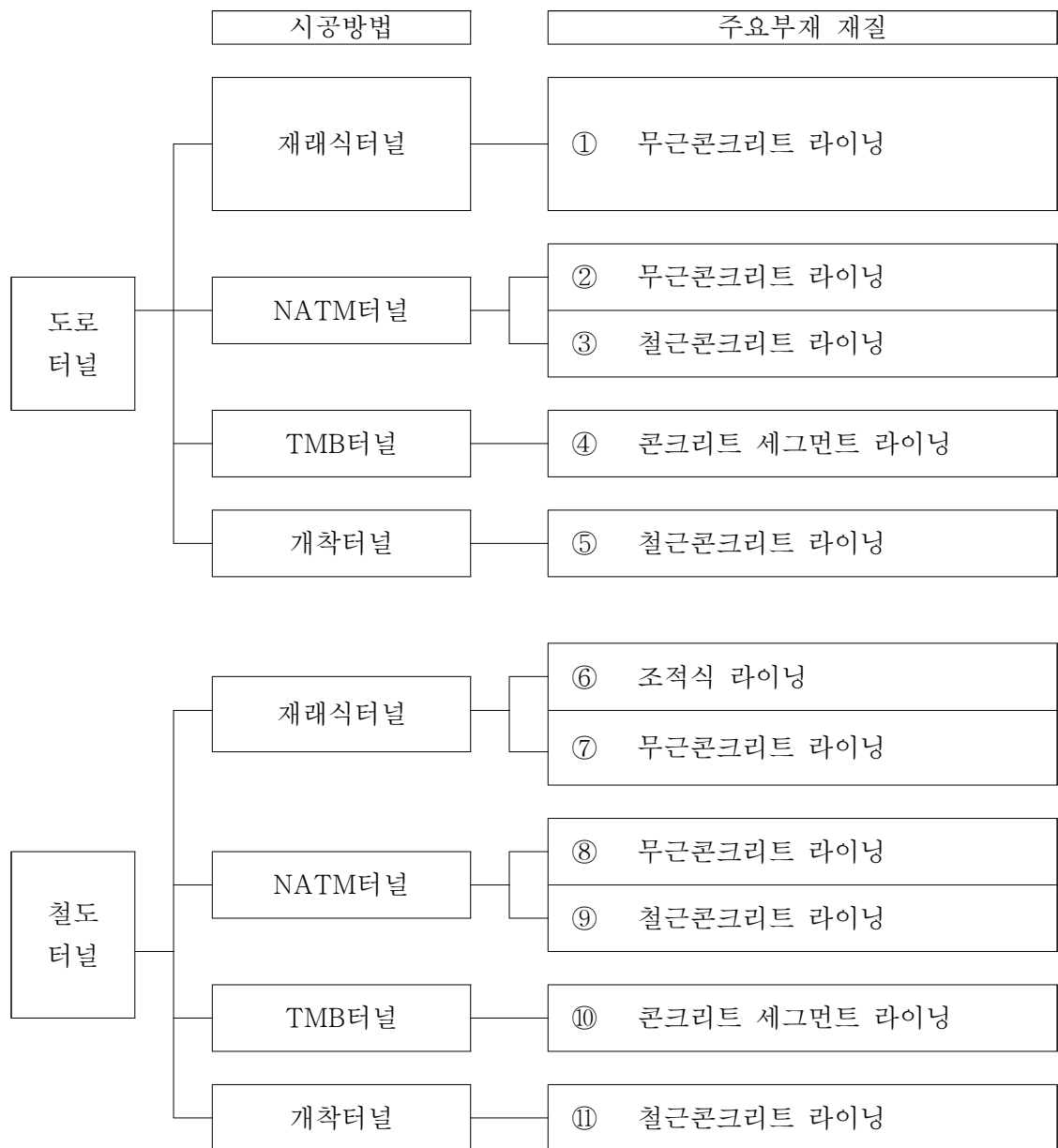
4) 환기구 등의 덮개

- 환기구 등의 덮개에 대한 평가기준이 “d” 이하인 경우

2.2 현장조사

2.2.1 시설물의 성능항목별 조사항목

가. 시공방법 및 주요부재 재질에 따른 터널 분류



[그림 2.1] 터널 시공방법 및 주요부재 재질에 따른 터널 분류

나. 성능항목별 성능평가지표

[표 2.2] 터널의 성능평가 시 성능지표

구 분			성 능 지 표	비 고
안전 성능	상태 안전성능	라이닝 상태	◦ 균열 ◦ 누수 ◦ 파손 및 손상 ◦ 박리 ◦ 층분리 및 박락 ◦ 재료분리 ◦ 철근노출 ◦ 줄눈부 열화(재래식터널의 조적식라이닝의 경우만 적용)	
		터널 주변	◦ 배수상태 ◦ 지반상태 ◦ 공동구상태 ◦ 내공단면 변형여부 ◦ 배면 공동 유무	
	구조 안전성능	상시/ 지진시	◦ 안전율 ◦ 변위 ◦ 응력	
내구 성능	무근콘크리트		◦ 표면부콘크리트 품질 ◦ 염해환경 ◦ 동해환경	
	철근콘크리트		◦ 피복콘크리트 품질 ◦ 염화물량 ◦ 탄산화 깊이 ◦ 염해환경 ◦ 동해환경	
사용 성능	사용 성능	주행성	◦ 포장상태 ◦ 터널 내 휘도 ◦ 터널 내 조도	
		방재성	◦ 방재시설 ◦ 비상대피시간	
	기능 성능	유지관리성	◦ 기계/전기설비의 기능성 ◦ 전력/통신/신호설비의 기능성	
		수요 및 용량	◦ 통행량 ◦ 일 통행횟수	
공중이 이용하는 부위			◦ 추락방지시설 ◦ 도로포장 ◦ 도로부 신축이음부 ◦ 환기구 등의 덮개	

2.2.2 현장조사 요령

가. 안전성능

1) 측점 분할

(가) 일반사항

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

(나) 조사수량 및 측정방법

- 성능평가 시 측점 분할 간격은 각종 현장 조사 시 좌우로 확인 가능한 거리인 5.0m 내외가 적당하며 먼밀한 조사가 필요한 구간에 대하여는 별도로 세분해야 하고, 내업 정리 및 분석 작업은 필요에 따라 5~50m 간격으로 조정이 가능하다.

(다) 결과분석

- 국부적인 표면 오염이나 습기 등이 있는 경우 이를 제거하고 스프레이, 매직, 유성 펜 등으로 표시하며 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.

2) 터널단면 측량

(가) 일반사항

- 외관조사 결과 터널 내공단면이 불규칙한 곳에 대하여는 정확한 단면상태 및 시공 상태의 파악을 위하여 터널의 종·횡단 측량 또는 선형 측량을 실시한다.
- 준공도상의 단면과 현 상태의 차이를 검토하고 건축한계(또는 시설한계)와 비교하여 보수·보강대책 수립 시와 유지·관리업무 수행 시에도 활용할 수 있도록 한다.

(나) 조사수량 및 측량방법

- 터널 성능평가 시 터널단면 측량은 최소 200m마다 1개소씩 측량하며, 특히 단면 변화구간 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.

(다) 결과분석

- 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.

3) 내공변위 측정

(가) 일반사항

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

(나) 조사수량 및 측정방법

- 터널 성능평가 시 내공변위 측정은 변위가 예상되거나 발생한 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 모르타르로 고정시키고, 고정된 양단의 앵커에 내공변위계의 후크를 걸고 일정한 장력이 되도록 조작한다.

(다) 결과분석

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

4) 내부결함 탐사

(가) 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.

(나) 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 조사한다.

- 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)
 - 100MHz~1GHz정도의 높은 주파수의 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.
- 초음파법
 - 음향적 측정방법인 음속법의 하나로 초음파의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화하는 것을 이용하며, 초음파가 콘크리트를 통과하는 시간(Pulse Velocity)을 측정하여 이로부터 콘크리트의 비파괴강도, 결함의 유무, 균열 및 콘크리트의 내부 분리, 공동현상 등을 추정하는 방법이다.

5) 진동 및 소음 측정

(가) 일반사항

- 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 사용성능을 고려하여 진동측정과 동시에 소음측정도 실시할 수 있다.

(나) 조사수량 및 측정방법

- 터널 성능평가 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 기록 장치로 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.

(다) 결과분석

- 일반적으로 진동규제기준치는 최대입자속도(Peak Particle Velocity)에 따라 결정하여 사용되고 있음. 전반적으로 최대입자속도 0.05m/sec보다 작은 발파나 진동의 경우 인접구조물에 손상이 생기지 않는 것으로 되어 있다.
- 소음측정 시 유의할 점은 어떤 점의 소음레벨은 주위의 반사음이나, 타 소음원 등의 영향을 받아 나타나는 결과임. 따라서 주위의 영향을 배제하고 음원의 음 자체를 측정하기 위해서는 가급적 주위에 반사물 등이 없는 곳에서 또한 음원에 접근하여 소음을 측정하는 것이 타당하다.

6) 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.

7) 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.

8) 지반상태조사 (지형 및 지질조사 포함)

(가) 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.

(나) 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.

(다) 풍화변질 및 단층파쇄대

- 터널에 영향을 줄 수 있는 범위 등을 조사한다.

9) 갯문상태 조사

- 갯문은 터널 입·출부에 위치하여 터널의 안전성에 유해요소로 작용할 수 있으므로 손상상태를 파악하여 시설물 유지관리에 활용한다.

10) 특수조건조사

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

11) 공동구조사

- 터널의 안전성과 공동구에 발생한 변형의 상관관계를 고려하여 공동구에 발생한 변상상태를 파악하여 시설물 유지관리에 활용한다.

나. 내구성능

1) 염화물 침투량(염화물 함유량)

- 콘크리트 내의 염화물 침투량(염화물 함유량)(이하 ‘염화물 침투량’이라 함)에 관한 KS 규격에 따라 공인시험기관에서 실시한다.

2) 탄산화 깊이

- 탄산화 깊이 측정은 KS 규격에 따라 실시하며, 시료를 직접 채취하거나 일부 떼어내기 혹은 드릴링을 통해 시료를 확보하여 적절한 측정장비를 이용하여 탄산화 깊이를 측정한다.

3) 피복(표면부) 콘크리트의 품질

- 피복(표면부) 콘크리트 품질은 반발경도값을 원칙으로 사용하며, 설계강도값과 비교하는 경우와 건전부 및 비건전부를 비교하는 경우로 구분하여 실시한다.
- 설계강도값과 비교하는 경우는 강도 추정값과 설계값을 비교하여 피복(표면부) 콘크리트의 내구성능을 평가한다.

- 건전부 및 비건전부를 비교하는 경우는 강도를 추정할 필요가 없으며, 반발경도 값을 직접 비교하여 판정한다.
- 안전성능의 콘크리트 비파괴강도(반발경도시험) 측정 결과를 활용하여 평가한다.

4) 염해환경

- 대상시설물의 위치(주소)를 확인하고 해안까지의 최단 거리(직선거리)를 측정하며, 해안선의 기준은 만조를 기준으로 한다.

5) 동해환경

- 기상자료개방포털(data.kma.go.kr)의 기상관측 자료를 통하여 지난 10년간 동절기의 일 최고기온, 일 최저기온, 강수량을 조사한다.
 - 동절기 기간 : 11월 1일 ~ 3월 31일
 - 대상지점의 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소를 설정하며, 같은 시라고 해도 관측지점에 따라 다소 큰 차이가 있으므로 가까운 관측소를 기점으로 반영한다. 단, 군소단위의 관측소가 없다면 시 관측소를 활용한다.
 - 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재의 경우 X 값 =

$$: \{ \text{일 최저기온} < -2.2^{\circ}\text{C} \} \& \{ \text{일 최고기온} > 0^{\circ}\text{C} \} \& \{ \text{강수량} > 0 \}$$
인 연평균 일수
 - 수분과 지속적으로 접촉하는 부재의 경우 X 값 =

$$: \{ \text{일 최저기온} < -2.2^{\circ}\text{C} \} \& \{ \text{일 최고기온} > 0^{\circ}\text{C} \}$$
인 연평균 일수
- 여기서, X 는 동결융해 반복지수를 의미하며, 수분접촉 여부에 따라 구분·산정

다. 사용성능

1) 포장상태

- 고속국도의 경우 고속도로 포장상태지수(HPCI)의 관리기준을 활용하며, 일반국도의 경우 일반도로 포장상태지수(NHPCI)의 관리기준을 적용한다.
- 고속국도, 일반국도의 PCI 지수의 자료를 활용하여 평가를 수행하며, 평가된 자료가 없을 시에는 책임기술자의 판단하에 장비를 활용하여 평가를 수행할 수 있다.

2) 터널 내 휘도

- 휘도 측정은 도로터널의 경계부 및 기본부의 평균휘도 KS 규격에 따라 실시한다.
- 터널의 방향 또는 교통량에 따라 적용기준을 달리한다. 경계부 평균휘도는 남향과 북향을 기준으로 적용기준이 나뉘며, 기본부의 평균휘도는 교통량에 따라 적용기준이 나뉜다.

3) 터널 내 조도

- 조도 측정은 원칙적으로 터널의 중앙부에서 수행하며, 조명이 없는 경우에는 조도측정을 하지 않는다.

- 터널 내부로 40m 이상 진입 시에는 외부 태양광의 영향을 받지 않으므로 조도 측정시에는 터널 내 중앙부까지 진입이 어려운 경우 50m 이상 진입 후 측정한다.

4) 방재시설

- 방재시설의 설치기준에 따라 육안 및 간단한 작동시험을 실시하여 기준 부합여부와 작동상태를 확인한다.

5) 비상대피시간

- 도로터널의 경우 설계도서 및 현장조사를 통해 피난연락갱의 위치 및 간격을 확인하여 설치 간격에 따라 평가한다.
- 철도터널의 경우 설계도서 및 현장조사를 통해 대피통로의 위치와 간격을 확인하여 설치 간격에 따라 평가한다.

6) 기계/전기/전력/통신/신호설비의 기능성

- 각종 설비에 대한 점검보고서 등의 자료를 활용하여 평가를 수행하며, 평가된 자료가 없을 시에는 책임기술자 판단에 따라 해당분야 기술자를 활용하여 평가할 수 있다.

7) 교통량 및 일 통행 횟수

- 건설사업정보화시스템의 건설공사사후평가에 입력된 사후평가서를 참고하여 수요예측값 대비 수요실제값의 비율을 분석하여 해당 등급에 따라 평가를 수행한다.
- 건설사업정보화시스템의 건설공사사후평가에 입력하도록 되어 있으며, 사업 효율성 분석을 위하여 수요예측과 수요실제 값을 활용한다.
- 수요예측은 국가 교통 DB, 예비타당성조사 또는 타당성조사 당시의 수요 추정값인 예측치이며, 수요실제는 시설물의 신설 이후 사후평가단계에서 실측된 수요를 나타낸다.
- 도로터널은 수요예측값 및 수요실제값에 대한 단위로 대/일을 사용한다. 사후평가시스템에서 제공하지 않는 경우, 기존 타당성 조사에서 산정된 수요 예측값과 국가교통 DB의 실측값을 활용하여 산정한다.
- 일 통행 횟수는 여객열차의 경우 한국철도공사의 열차운행현황에 따라 조사하며, 화물열차의 일 통행 횟수의 경우 물류본부(철도운행정보-화물열차 시간표)에 의거하여 조사를 수행한다.
- 한국철도공사의 여객열차 일 통행 횟수의 경우 코레일 홈페이지 → 사업분야 → 여객사업 → 열차운행현황에 의거하여 조사하며, SRT의 일 통행 횟수는 SRT홈페이지에서 확인 가능하다.

라. 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 등을 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 재료시험 항목

가. 제2종성능평가

[표 2.3] 제2종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전성능		◦ 측점분할	◦ 콘크리트 강도(국부파괴시험법)
		◦ 콘크리트 강도 - 비파괴시험 : 반발경도시험 ¹⁾	◦ 철근탐사시험 - 철근 배근상태 - 철근 피복두께
			◦ 콘크리트 강도 - 비파괴시험 : 초음파전달속도시험
내구성능		◦ 탄산화깊이 ◦ 염화물 침투량	-
사용성능	도로	◦ 터널 내 휘도	◦ 기타 필요한 조사 및 시험
	철도	◦ 터널 내 조도	

주1) 반발경도시험 결과를 활용하여 콘크리트 강도와 피복(표면부) 콘크리트품질을 평가한다.

- 콘크리트 강도
 - 반발경도시험 결과와 설계강도를 비교하여 콘크리트 강도를 평가한다.
- 피복(표면부) 콘크리트품질 평가
 - 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가는 건전부, 비건전부를 구분하여 평가하되, 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 건전부와 비건전부는 각각 최소 1개소 이상 포함되어야 한다.

나. 제1종성능평가

[표 2.4] 제1종성능평가 재료시험 항목

구분		기본과업	선택과업
안전성능		◦ 측점분할	◦ 콘크리트 강도(국부파괴시험법)
		◦ 터널단면측량	◦ 내공변위 측정
		◦ 콘크리트 강도 - 비파괴시험 : 반발경도시험 ¹⁾ , 초음파전달속도시험	◦ 진동 및 소음측정
		◦ 철근탐사시험 - 철근 배근상태 - 철근 피복두께	◦ 변형률 측정
		◦ 철근부식도시험	◦ 수질조사 및 침전물 조사
		◦ 균열깊이 조사	◦ 시추조사 ◦ 지반탐사
내구성능		◦ 탄산화깊이	-
		◦ 염화물 침투량	
사용성능	도로	◦ 터널 내 휘도	◦ 기타 필요한 조사 및 시험
	철도	◦ 터널 내 조도	

주1) 반발경도시험 결과를 활용하여 콘크리트 강도와 피복(표면부) 콘크리트품질을 평가한다.

- 콘크리트 강도
 - 반발경도시험 결과와 설계강도를 비교하여 콘크리트 강도를 평가한다.
- 피복(표면부) 콘크리트품질 평가
 - 피복(표면부) 콘크리트 품질 평가는 건전부, 비건전부를 구분하여 평가하되, 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 건전부와 비건전부는 각각 최소 1개소 이상 포함되어야 한다.

2.3.2 재료시험 기준수량

가. 제2종성능평가 재료시험 기준수량

[표 2.5] 제2종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
측점분할	◦ 5 ~ 50m 간격	—
반발경도시험	◦ 총연장 ÷ 300m 개소	—
탄산화 깊이	◦ 총연장 1,000m 미만 : 2개소 ◦ 총연장 1,000m 이상 : 최소 2개소 + 1,000m 당 1개소 추가	—
염화물 침투량	◦ 총연장 1,000m 미만 : 2개소(갱문 1개소 포함) ◦ 총연장 1,000m 이상 : 최소 2개소(갱문포함) + 1,000m 당 1개소 추가	—
회도	◦ 총 10개소	—
조도	◦ 총 10개소	

[표 2.6] 제2종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
코어채취 ¹⁾	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	◦ 실내시험 실시
초음파 전달속도시험	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—
철근탐사시험	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—
기타 필요한 조사 및 시험	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—

주1) 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있다.

나. 제1종성능평가 재료시험 기준수량

[표 2.7] 제1종성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
측점분할	◦ 5 ~ 50m 간격	책임기술자 조정가능
단면측량	◦ (총연장 ÷ 200m) + 1개소	책임기술자 조정가능
반발경도시험	◦ (총연장 ÷ 100m) × 2개소	시험부위는 책임기술자가 판단 ¹⁾ (단 경년변화평가시동일부위시험원칙)
초음파 전달속도시험		
철근탐사시험	◦ 총연장 1,000m 미만 : 4개소 ◦ 총연장 1,000m 이상 : 최소 4개소 + 500m 당 1개소 추가	—
철근부식도시험	◦ 책임기술자의 판단에 따라 조사 수량 결정	—
균열깊이 조사	◦ 책임기술자의 판단에 따라 조사 수량 결정	—
탄산화 깊이	◦ 총연장 1,000m 미만 : 4개소 ◦ 총연장 1,000m 이상 : 최소 4개소 + 500m 당 1개소 추가	—
염화물 침투량	◦ 총연장 1,000m 미만 : 4개소(갱문 1개소 포함) ◦ 총연장 1,000m 이상 : 최소 4개소(갱문포함) + 500m 당 1개소 추가	—
회도	◦ 총 10개소	—
조도	◦ 총 10개소	

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

[표 2.8] 제1종성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	재료시험 기준수량	비고
코어채취 ¹⁾	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	◦ 실내시험 실시
내공변위측정	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—
진동 및 소음측정	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—
변형률 측정	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—
수질 및 침전물조사	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—
시추조사	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—
지반탐사	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—
기타 필요한 조사 및 시험	◦ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—

주1) 이전의 실내시험에 대한 자료가 충분하고, 평가결과가 기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있다.

2.4 안전성능 평가기준 및 방법

2.4.1 상태안전성능 평가기준 및 방법

가. 상태안전성능 평가기준 및 방법

1) 일반

터널의 상태안전성능 평가는 외관을 조사하여 획득한 결함 및 손상 등 시설물의 물리적 상태변화와 연관된 성능지표 조사결과를 활용하여, 상태변화가 전체 구조물의 안전성에 미치는 영향정도를 고려하기 위하여 성능지표별로 구분된 평가기준을 적용하여 결함지수를 산정한 후 평가를 실시한다.

2) 평가범위

터널의 상태안전성능 평가 대상인 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 상태안전성능 평가 시 기본시설물에 포함하여 평가한다. 시설물의 중요도 및 규모 등이 상대적으로 큰 연직갱/경사갱, 환기구, 피난연락갱, 연결터널 등은 별도평가 후 부대시설물 가중치를 적용하여 시설물을 평가한다.

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

3) 상태안전성능 평가 성능지표 및 기준

터널의 상태안전성능 평가는 라이닝 상태안전성능 평가와 터널주변 상태안전성능 평가로 구분하여 실시하며 상태안전성능 평가 시 고려해야 할 주요 성능지표는 다음과 같다.

[표 2.9] 터널의 상태안전성능 평가 시 성능지표

구 분		성 능 지 표	비 고
상태 안전성능	라이닝 상태	◦ 균열 ◦ 누수 ◦ 파손 및 손상 ◦ 박리 ◦ 층분리 및 박락 ◦ 재료분리 ◦ 철근노출 ◦ 줄눈부 열화(재래식터널의 조적식라이닝의 경우만 적용)	주요부재
	터널 주변	◦ 배수상태 ◦ 지반상태 ◦ 공동구상태 ◦ 내공단면 변형여부 ◦ 배면 공동 유무	배수시설, 공동구 등

평가기준은 5단계로 세분하였고, 평가항목별 상태안전성능 평가기준은 터널의 안전성 평가기준과 차이를 두기 위하여 소문자 a, b, c, d, e로 표기한다.

현장 조사 시 각각의 평가항목에 대한 상태안전성능 평가는 가장 취약한 것을 기준으로 하여 결정하도록 하며, 책임 기술자는 현장 상태를 기준으로 상태안전성능을 판단하고 하향조정하여 평가할 수 있다.

터널 라이닝의 상태안전성능 평가 시 본선라이닝(갱구부, 개착구간, 굴착구간)의 단위길이 기준은 일반적으로 30m로 하며, 단면형식에 따라 단위면적을 기준으로 평가를 실시한다. 상태안전성능 평가의 단위면적은 터널 라이닝의 신축이음(약 20~30m)을 고려하여 책임기술자의 판단에 따라 조정할 수 있다.

(가) 균열

[표 2.10] 터널의 균열 평가기준

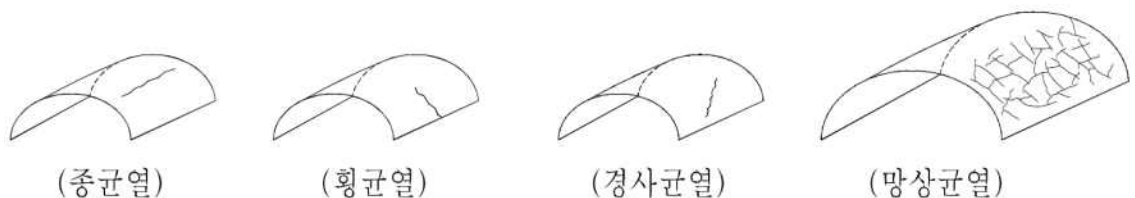
평가기준 구분		a	b	c	d	e
콘크리트 라이닝	무균(균열)	0.1mm 이하	0.1mm 초과 0.3mm 이하	0.3mm 초과 1.0mm 이하	1.0mm 초과 3.0mm 이하	3.0mm 초과
	철근(균열)	0.1mm 이하	0.1mm 초과 0.3mm 이하	0.3mm 초과 0.5mm 이하	0.5mm 초과 1.0mm 이하	1.0mm 초과
개착터널	BOX(균열)	0.1mm 이하	0.1mm 초과 0.3mm 이하	0.3mm 초과 0.5mm 이하	0.5mm 초과 1.0mm 이하	1.0mm 초과
조적식 라이닝	줄눈균열	없음	아주 경미한 줄눈깨짐	벽돌 2개소 이하	벽돌 2개소초과 ~5개소 미만	벽돌 5개소 이상

< 해 설 >

- 진행성의 유무가 확인되지 않는 경우에 적용하며 진행성이 확인되는 경우 평가는 하향조정하고 정기적으로 관찰하도록 한다.

※ 진행성 여부의 판별은 주기적인 점검(정기점검) 결과를 활용하여 판단한다.

- 균열형상은 종균열, 횡균열, 경사균열, 망상균열로 구분하며 횡균열을 제외한 균열의 평가 및 균열이 다음 스팬(Span)에 연속적으로 이어져 있는 경우는 책임기술자의 판단에 의하여 평가결과는 하향조정할 수 있다.



[그림 2.2] 터널의 상태안전성능 평가 시 균열의 평가기준

- 균열의 발생위치는 천장부, 어깨부, 측벽부로 표기하며, 균열에 의한 단차가 발생하였거나 구조체를 관통하는 균열일 경우 책임기술자의 판단에 의해 하향조정할 수 있다.

- 구조적 균열은 설계 오류로 인한 균열, 외부 하중에 의한 균열, 단면 및 철근량의 부족에 의한 균열 등이 있음. 콘크리트 구조의 균열은 콘크리트와 철근 사이의 응력, 변형률, 미끄러짐(slip), 부착응력 등에 따라 균열형성단계와 균열안정화 단계의 2단계로 형성됨. 구조적 균열발생 시 면적률에 관계없이 평가는 하향조정하고, “d”이하로 발생하였을 경우에는 안전성평가를 통하여 과하중의 양상과 그 결과의 분석을 실시하도록 한다.
- 조적식 라이닝의 경우 줄눈깨짐의 연속성 정도에 따라 평가는 하향 조정하도록 한다.
- 보수·보강부위는 기존의 균열폭과 길이의 변화, 새로운 균열 및 들뜸의 진행성 유무 등을 주기적인 점검을 수행하고 그 결과를 활용하여 평가할 수 있다.
- 면적률이 20% 이하일 경우는 해당 상태안전성능 평가결과를 기재하고, 면적률 20% 이상과 구조적 균열 및 단차균열일 경우의 평가는 하향 조정할 수 있다.
- 균열의 발생면적은 균열길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 한다.

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

- 다만, 발생한 균열이 터널의 구조적인 안전성에 미치는 영향이 미미한 경우의 평가는 책임 기술자의 판단에 의하여 상향조정할 수 있음

(나) 누수

[표 2.11] 터널의 누수 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
누수	없음	스며있음	떨어짐	흐름	분출

< 해 설 >

- 누수발생부위는 천장부, 어깨부, 측벽부, 바닥부로 구분하며, 천장부 및 어깨부에 누수가 발생하여 차량통행에 지장을 주는 경우 평가는 하향조정하도록 한다.
- 아치부에 발생한 누수가 얼어 고드름이 형성된 경우와 측벽부에 발생한 누수가 얼어서 건축한계를 초과하여 차량통행에 지장을 주는 경우에는 평가를 하향조정 하도록 한다.
 - ※ 상태안전성능평가결과가 “d”이하이며, 토립자가 함께 나와 구조적 결함을 유발시킬 수 있거나 고드름 및 측빙 등으로 차량통행에 현저한 지장을 주는 경우에는 중대한 결함으로 봄

- 노면에 토사유출 또는 동결이 발생되어 차량통행에 지장이 될 경우에는 평가를 하향조정하고, 그 원인을 정밀조사하도록 한다.
- 누수가 배수공과 시공이음, 신축이음의 결합, 균열, 배면공동, 수맥 등의 영향으로 인하여 발생될 경우에는 수압 등에 의한 구조적 결함을 유발시킬 수 있는지 여부 등을 검토할 수 있다.
- 누수는 건기시와 우기시에 따라 계절별로 차이가 발생할 수 있으므로 계절적 요인을 반영하여 평가할 수 있다.
- 보수·보강부위는 누수상태(수질, 수량, 물흐름)의 변화 유무 등을 주기적인 점검(정기점검) 결과를 활용하여 평가할 수 있다.

(다) 파손 및 손상

[표 2.12] 터널의 파손 및 손상 평가기준

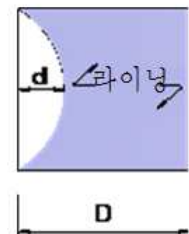
평가기준		a	b	c	d	e
구분						
콘크리트 라이닝	손상도	없음	1/6 미만	1/6 이상 1/3 미만	1/3 이상 1/2 미만	1/2 이상
조적식 라이닝	손상 두께	없음	벽돌부분 손상	벽돌 1개 이하	벽돌 1개 초과 ~2개소 미만	벽돌 2개 이상

< 해 설 >

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

※ 손상도 = d(파손 및 손상두께) / D(설계두께)

- 여기서, 손상도 평가 시 기준면적은 설계두께의 2배와 같은 일변의 길이를 갖는 정사각형의 면적 또는 이와 동일한 면적을 갖는 독립된 부위
- 조적식 라이닝에서 파손 및 손상두께는 벽돌두께를 기준으로 적용한다.
- 지반탐사 등으로 측정된 라이닝 두께가 설계두께에 못 미치는 경우에는 이를 손상도로 평가할 수 있다.
- 파손 및 손상발생부위는 아치부와 측벽부로 구분하며, 아치부에 파손 및 손상이 발생하여 낙하위험이 있는 경우 평가는 하향조정한다.
- 면적률이 20% 이하일 경우는 해당 상태안전성능 평가결과를 기재하고, 면적률이 20% 이상일 경우의 평가는 b→c, c→d, d→e로 하향 조정할 수 있다.



(라) 재질열화(박리, 층분리 및 박락, 재료분리, 철근노출, 줄눈부 열화)

[표 2.13] 터널의 재질열화 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
박리	없음	6.0mm 미만	6.0mm이상 25mm미만	25mm이상 이거나 조골재 손실	박리가 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태
재료분리	없음	면적률 5% 미만	면적률 5% 이상 ~10% 미만	면적률 10% 이상 ~20% 미만	면적률 20%이상
층분리 및 박락	없음	깊이 12mm 미만 또는 직경 75mm 미만	깊이 12~25mm 미만 또는 직경 75~150mm 미만	깊이 25mm 이상 또는 직경 150mm 이상	박락이 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태
철근노출	없음	면적률 1% 미만	면적률 1% 이상 ~ 3% 미만	면적률 3% 이상 ~ 5% 미만	면적률 5% 이상
줄눈부 열화	없음	아주 경미하게 열화된 상태	벽돌 2개 규모 이하의 재질열화	벽돌 2개 초과~5개 미만의 재질열화	벽돌 5개 이상 규모의 재질열화

< 해 설 >

- 박리, 층분리 및 박락, 재료분리는 콘크리트의 재질에 대한 평가로서 사용기간이나 주변 환경영향 등에 따라 열화되는 특성을 나타낸다.
- 박리는 콘크리트 라이닝의 박리된 깊이를 기준으로 하며, 층분리 및 박락은 콘크리트 박리된 깊이, 직경, 상태 등을 고려하여 판단하도록 한다.
- 박리·층분리 및 박락이 심한 경우에는 다른 변상조건들과 비교·검토하여 그 원인을 조사하도록 한다.
- 재료분리의 경우 발생범위와 정도로부터 판단하도록 하며, 면적률 계산 시 해당 Sheet별 면적대비 재료분리 발생구간의 면적의 비로서 표현한다.
- 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.
- 박리, 층분리 및 박락의 면적률이 20% 이하일 경우는 해당 상태안전성능 평가결과를 기재하고, 면적률이 20% 이상일 경우의 평가는 b→c, c→d, d→e로 하향 조정할 수 있다.
- 줄눈부 열화 평가에서 채움재의 탈락으로 인하여 벽돌의 파손 또는 누수를 유발하는 경우 책임기술자의 판단에 따라 평가는 b→c, c→d, d→e로 하향 조정할 수 있다.

(마) 내공단면 변형여부

[표 2.14] 터널의 내공단면 변형여부

평가기준 구분	내공변위(ε)		
	9개월 이상	3~9개월	2~3개월
a	1mm 이하		
b	$1\text{mm} < \varepsilon \leq 3\text{mm}$		$1\text{mm} < \varepsilon \leq 2\text{mm}$
c	$3\text{mm} < \varepsilon \leq 5\text{mm}$	$3\text{mm} < \varepsilon \leq 4\text{mm}$	$2\text{mm} < \varepsilon \leq 3\text{mm}$
d	$5\text{mm} < \varepsilon \leq 10\text{mm}$	$4\text{mm} < \varepsilon \leq 7\text{mm}$	$3\text{mm} < \varepsilon \leq 4\text{mm}$
e	10mm 초과	7mm 초과	4mm 초과

주) 계절적 변위가 큰 1월, 7월을 포함한 2~3개월 계측인 경우 3~9개월 내공변위를 적용한다.

주) 내공단면 설정 조건(균열폭 3.0mm이상, 단차균열, 집중 손상부위, 책임기술자 판단)

(바) 배면 공동 유무

[표 2.15] 터널의 배면 공동 유무 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
배면 공동 유무	발견된 공동이 없는 경우	배면공동이 존재하나 라이닝에 변형을 유발하지 않은 경우	배면공동으로 인하여 라이닝에 이차적인 변형이 발생한 경우		

< 해 설 >

- 터널 라이닝 배면에 존재하는 공동으로 인하여 발생할 수 있는 터널의 붕괴를 방지하고자 배면공동의 유무를 평가하며, 공동의 깊이 및 폭을 추정하는데 매우 어려움이 있으므로 최신 탐사장비를 활용하여 공동유무를 조사한다.
- 터널 라이닝 배면에 공동이 존재하며 이로 인하여 라이닝에 변형이 발생하였을 때에는 광범위한 부재에서 결함 발생 가능성이 조사되었으나, 터널 구조물의 안전에는 지장이 없는 경우, 주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요한 경우, 심각한 결함으로 안전에 위험이 있는 경우로 구분하고 전문가의 판단에 따라 점수를 부여한다.
- 공동의 크기가 대규모인 경우 또는 계측기간 동안 진행성을 파악한 경우에는 원인 및 터널에 미치는 영향을 파악하여 즉각적인 조치를 취하여야 한다.

(사) 배수상태

[표 2.16] 터널의 배수상태 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
배수상태	배수에 문제가 없는 경우	오염됨		배수불량 및 막힘 (배수시설 작동불량)	

< 해 설 >

- 배수상태는 지하수를 유도하여 배수를 허용하는 배수형 터널의 경우에 한하며, 배수형 터널이 아닌 경우에는 전문가의 판단에 따라 별도로 적용하도록 한다.
- 배수된 물의 함유성분에 의한 오염이 우려되는 경우에는 수질을 조사하여 오염의 원인을 평가하도록 한다.
- 배수된 물에 토사가 섞여 나오는 경우에는 계속적인 토사유출로 라이닝 배면에 문제가 발생할 가능성이 있으므로 토사유출량과 터널안정성에 대해 정밀조사하도록 한다.
- 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.

(아) 지반상태

[표 2.17] 터널의 지반상태 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
지반상태	지반상태에 문제가 없는 경우	풍화변질	단층과쇄대/토사		
			영향범위 외	영향범위 내	
				중·소규모 단층	대규모 단층

< 해 설 >

- 기시공된 터널에서는 주변지반상태를 육안으로 확인하는 것이 쉽지 않으므로 설계 및 시공 자료를 참고하여 지반상태를 평가하도록 하며, 책임기술자 판단에 따라 필요시 관리주체와 협의하여 지반조사를 하도록 한다.
- 지반상태가 터널에 영향을 미치는 범위는 0.5D를 기준으로 한다(여기서, D는 터널의 직경을 의미함).
- 지반의 풍화변질상태는 육안으로 확인할 수 있는 갱구부 주변의 지반이나 노출된 암반으로부터 평가하도록 한다.
- 터널에 직접적인 영향을 주는 지질구조(단층, 습곡, 선구조선)의 영향은 지질도나 시공자료, 지표지질조사결과 그리고 필요시 인공위성사진, 항공사진 등을 이용하여 검토하도록 한다.
- 이완토압, 편토압, 소성압 등으로 인하여 내공변위가 발생한 경우에는 단층과쇄대의 영향 범위 내에 해당하는 점수를 부여한다.
- 도심지 터널의 경우 낮은 심도로 인하여 불량지반, 복합지반에 위치하는 경우에 지반상태를 평가하고 영향범위에 따른 점수를 부여한다.

(자) 공동구상태

[표 2.18] 터널의 공동구상태 평가기준

평가기준 구분	a	b	c	d	e
공동구상태	공동구에 문제가 없는 경우	보통인 상태 뒤통과손 및 오염됨	이물질 퇴적 및 침수	불량한 상태	

< 해 설 >

- 통신케이블, 신호용케이블, 전기케이블 등의 보호를 위해 터널 내에 설치되는 공간을 가리키며, 일반적으로 배수시설과 병행하여 시공된다.
- 공동구의 오염상태, 뒤통과손, 이물질의 퇴적이나 침수 등을 조사하여 상태를 평가하도록 하며, 공동구 주변의 변화상태 등에 유의하여야 한다.
- 공동구의 변형과 라이닝부 및 바닥부, 주변지반과의 상관관계를 고려하여 상태의 정도를 평가하도록 하며, 터널의 변상에 기인한 변형의 경우에는 손상원인을 규명하도록 한다.

(차) 특수조건

[표 2.19] 터널의 특수조건 평가기준(도심지터널)

평가기준 구분	a	b	c	d	e
특수조건	특수조건에 해당하지 않는 경우	도심지 토사터널			
		주의범위 (1D~2D)	제한범위 (1D 미만)	-	-

[표 2.20] 터널의 특수조건 평가기준(전력구 터널 등)

평가기준 구분	a	b	c	d	e
특수조건	특수조건에 해당하지 않는 경우	전력구터널, 전차선을 설치한 터널			
		측벽부 낙수	아치부 낙수	동결위험	

< 해 설 >

- 도심지 토사터널은 터널심도, 인접시설물(건축물, 철도, 도로 등)과의 거리 등을 검토·분석하고 터널에 영향을 미치는 범위(주의:1D~2D, 제한:1D 미만)를 고려하여 이를 반영한다 (여기서, D는 터널의 직경을 의미함).
- 전력구터널, 전차선을 설치한 터널은 전기를 사용하므로 누전문제에 대한 위험성을 상태 안전성능 평가에 추가 반영하도록 하고, 특히 전차선을 설치한 터널은 동결 시 차량운행에 지장을 초래할 수 있으므로 이를 반영한다.
- 기타 일반적인 터널조건과 다른 특수터널인 경우, 조사자의 판단에 따라 상태안전성능 평가에 특수조건을 부과하여 가점하도록 한다.

(카) 공중이 이용하는 부위

평가항목	평가등급	평가기준
추락방지 시설	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 전도 및 이탈이 발생 할 수 있어 즉각적인 보수·보강이 필요한 상태
	e	○추락방지시설의 전반적 기능저하로 사용자의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지해야 하는 상태
도로포장 파손	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
도로부 신축이음부	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
환기구 등의 덮개	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

4) 기본시설물 결합지수 산정기준

(가) 터널별 결합지수 산정기준

터널 시설물 분류에 따른 터널별 상태안전성능 평가를 위한 결합점수와 결합지수 산출방법은 다음과 같다. 여기서, 결합점수는 평가기준에 따른 평가점수를 합산하여 산정하며($\sum$ 평가점수), 산정된 결합점수를 가중치의 합계($\sum$ 가중치)로 나누어 산정한다.

단, 아래 표에서 제시된 평가지표 중 시설물별 특수성으로 인하여 공통적으로 적용되지 않는 지표가 발생될 경우, 상태안전성능 평가표에서 해당 평가지표를 제외한 후 결합지수 (f)를 산정한다.

○ 도로터널-재래식터널-무근콘크리트 라이닝

[표 2.21] 도로터널-재래식터널의 결합지수 산정 기준

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	균 열	0	4	7	11	16	16
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3	4	4
	충분리 및 박락	0	1	2	3	5	5
	재료분리	0	1	2	3		3
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	11	17	17
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	4	6	9	9
	배면공동 유무	0	2	4	6	8	8
특수조건		0	1	3	4~6		6
기본시설물 결합지수 (f) = $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치}(w)}$							

○ 도로터널-NATM터널-무근콘크리트 라이닝

[표 2.22] 도로터널-NATM터널(무근)의 결함지수 산정 기준

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	균 열	0	4	7	11	16	16
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3	4	4
	충분리 및 박락	0	1	2	3	5	5
	재료분리	0	1	2	3		3
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	11	17	17
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	4	6	9	9
	배면공동 유무	0	2	4	6	8	8
특수조건		0	1	3	4~6		6
기본시설물 결함지수 (f) = $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치(w)}}$							

○ 도로터널-NATM터널-철근콘크리트 라이닝

[표 2.23] 도로터널-NATM 터널의 결함지수 산정 기준

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		0≤f<0.15	0.15≤f<0.30	0.30≤f<0.55	0.55≤f<0.75	0.75≤f	
라 이 닝	균 열	0	4	7	11	16	16
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3		3
	충분리 및 박락	0	1	2	3	5	5
	재료분리	0	1	3	3		3
	철근노출	0	2	4	6	8	8
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	10	15	15
	배수상태	0	1	3	4	6	6
	공동구상태	0	1	2			2
	지반상태	0	2	3	5	7	7
	배면공동 유무	0	2	4	6	8	8
특수조건		0	1	2	3~5		5
기본시설물 결함지수 (f) = $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치(w)}}$							

○ 도로터널-TBM터널-콘크리트 세그먼트 라이닝

[표 2.24] 도로터널-TBM터널의 결함지수 산정 기준

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	균 열	0	4	7	11	16	16
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3		3
	충분리 및 박락	0	1	3	4	6	6
	재료분리	0	1	2	3		3
	철근노출	0	2	4	6	8	8
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	10	15	15
	배수상태	0	1	3	4	6	6
	공동구상태	0	1	2			2
	지반상태	0	2	3	5	7	7
	배면공동 유무	0	2	3	5	7	7
특수조건		0	1	2	3~5		5
$\text{기본시설물 결함지수 (f)} = \frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치 (w)}}$							

○ 도로터널-개착터널-BOX형 철근콘크리트 구조물

[표 2.25] 도로터널-개착터널-BOX형의 결함지수 산정 기준

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		0≤f<0.15	0.15≤f<0.30	0.30≤f<0.55	0.55≤f<0.75	0.75≤f	
라 이 닝	균 열	0	4	7	11	17	17
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3		3
	충분리 및 박락	0	1	2	3	5	5
	재료분리	0	1	2	3		3
	철근노출	0	2	4	6	8	8
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	10	15	15
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	3	5	7	7
	배면공동 유무	0	1	2	3	5	5
특수조건		0	1	2	3~5		5
기본시설물 결함지수 (f) = $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치(w)}}$							

○ 철도터널-채래식터널-조적식 라이닝

[표 2.26] 철도터널-채래식터널의 결함지수 산정 기준

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	균 열	0	4	7	11	17	17
	누 수	0	3	5	7	11	11
	줄눈부 열화	0	2	3	5	7	7
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3		3
	충분리 및 박락	0	1	2	3	4	4
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	11	17	17
	배수상태	0	2	4	6	8	8
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	4	6	8	8
	배면공동 유무	0	2	3	5	7	7
특수조건		0	1	3	4~6		6
기본시설물 결함지수 (f) = $\frac{\Sigma \text{평가점수}}{\Sigma \text{가중치(w)}}$							

○ 철도터널-채래식터널-무근콘크리트 라이닝

[표 2.27] 철도터널-채래식터널의 결함지수 산정 기준

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		0≤f<0.15	0.15≤f<0.30	0.30≤f<0.55	0.55≤f<0.75	0.75≤f	
라 이 닝	균 열	0	4	7	11	16	16
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3	4	4
	충분리 및 박락	0	1	3	4	6	6
	재료분리	0	1	2	3		3
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	11	17	17
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	4	6	8	8
	배면공동 유무	0	2	4	6	8	8
특수조건		0	1	3	4~6		6
기본시설물 결함지수 (f) = $\frac{\Sigma \text{평가점수}}{\Sigma \text{가중치(w)}}$							

○ 철도터널-NATM터널-무근콘크리트 라이닝

[표 2.28] 철도터널-NATM터널(무근)의 결함지수 산정 기준

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	균 열	0	4	7	11	16	16
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3	4	4
	충분리 및 박락	0	1	3	4	6	6
	재료분리	0	1	2	3		3
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	11	17	17
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	4	6	8	8
	배면공동 유무	0	2	4	6	8	8
특수조건		0	1	3	4~6		6
기본시설물 결함지수 (f) = $\frac{\Sigma \text{평가점수}}{\Sigma \text{가중치(w)}}$							

○ 철도터널-NATM터널-철근콘크리트 라이닝

[표 2.29] 철도터널-NATM터널의 결함지수 산정 기준

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	균 열	0	4	7	10	15	15
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	8	8
	박 리	0	1	2	3		3
	충분리 및 박락	0	1	2	3	5	5
	재료분리	0	1	2	3		3
	철근노출	0	2	4	6	8	8
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	10	15	15
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	3	5	7	7
	배면공동 유무	0	2	4	6	8	8
특수조건		0	1	2	3~5		5
기본시설물 결함지수 (f) = $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치}(w)}$							

○ 철도터널-TMB터널-콘크리트 세그먼트 라이닝

[표 2.30] 철도터널-TMB터널의 결함지수 산정 기준

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라 이 닝	균 열	0	4	7	10	15	15
	누 수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	8	8
	박 리	0	1	2	3		3
	충분리 및 박락	0	1	2	3	5	5
	재료분리	0	1	2	3		3
	철근노출	0	2	4	6	8	8
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	10	15	15
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	2	3	5	7	7
	배면공동 유무	0	2	4	6	8	8
	특수조건	0	1	2	3~5		5
기본시설물 결함지수 (f) = $\frac{\Sigma \text{평가점수}}{\Sigma \text{가중치(w)}}$							

○ 철도터널-개착터널-철근콘크리트 구조물

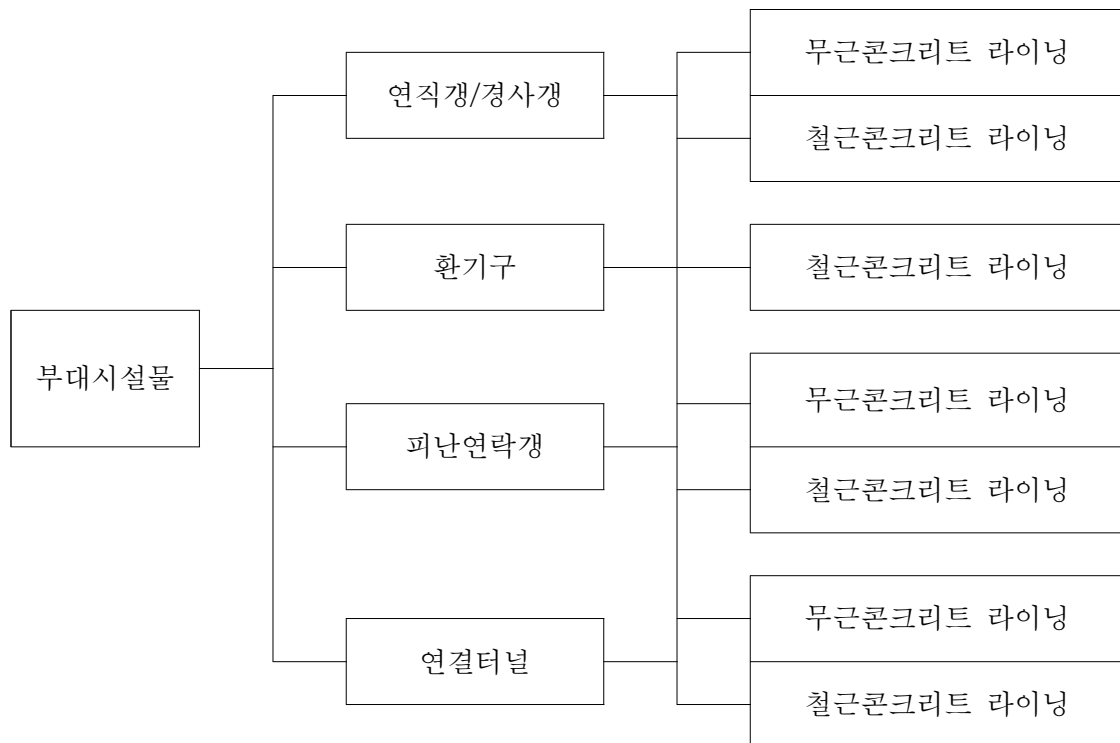
[표 2.31] 철도터널-개착터널 결함지수 산정 기준

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		0≤f<0.15	0.15≤f<0.30	0.30≤f<0.55	0.55≤f<0.75	0.75≤f	
라 이 닝	균 열	0	4	7	11	16	16
	누 수	0	3	6	9	14	14
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박 리	0	1	2	3		3
	충분리 및 박락	0	1	2	3	5	5
	재료분리	0	1	2	3		3
	철근노출	0	2	4	6	8	8
터 널 주 변	내공단면 변형여부	0	4	7	11	16	16
	배수상태	0	2	3	5	7	7
	공동구상태	0	1	2	3		3
	지반상태	0	1	3	4	6	6
	배면공동 유무	0	1	2	3	5	5
	특수조건	0	1	2	3~5		5
기본시설물 결함지수 (f) = $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치(w)}}$							

5) 부대시설물 결합지수 산정기준

(가) 터널 부대시설물 분류

터널 부대시설물 중에서 중요도 및 규모가 상대적으로 큰 별도평가 부대시설물을 기능 및 라이닝의 재질에 따라 분류하면 아래 그림과 같다.



[그림 2.3] 부대시설물 분류

(나) 부대시설물 상태안전성능평가 성능지표

터널 부대시설물은 기본시설물의 성능지표(터널주변 성능지표 제외)를 준용하여 평가한다.

(다) 부대시설물 가중치

부대시설물 평가결과를 기본시설물을 포함한 전체시설물의 상태안전성능 평가결과에 반영하기 위한 방법으로 아래 표와 같이 기본시설물과 별도로 부대시설물 결합점수에 따른 가중치(W)를 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 상태안전성능 평가결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

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

[표 2.32] 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 상태안전 성능 평가	문제점이 없는 최상 의 상태	기능수행에 영향이 없으나 일부 보수가 필요한 상태	부재의 손상이 있으나 기본 시설 기능 수행에 문제가 없는 상태	부재의 손상이 중대하여 기본시설물에 영향을 주는 상태	기본시설물의 기능수행에 문제를 일으켜 즉각적인 조치가 필요한 상태

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

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

여기서, f_n : 개별 부대시설물의 상태안전성능 평가 결합지수

n : 개별 부대시설물의 개수

(라) 부대시설물 결합지수 산정기준

터널 부대시설물 구조물 분류에 따른 상태안전성능 평가를 위한 결합점수와 결합지수 산출방법은 기본시설물 기준(터널주변점수 제외)을 준용한다.

2.4.2 구조안전성능 평가기준 및 방법

가. 일반

1) 일반

터널의 구조안전성능 평가는 외관조사 및 비파괴 현장시험에 의한 터널 부재별 상태 안전성능 평가를 분석하고, 필요시 지형 및 지질조사, 지반탐사(GPR 등), 누수탐사, 각종 계측 등의 실시결과를 고려하여 이론적 계산과 해석적 검증을 통하여 성능지표를 검토하여 터널에 대한 안전성능을 평가한다.

[표 2.33] 터널의 구조안전성능 평가 시 성능지표

구 분		성능지표	비 고
구조안전성능	상시	◦ 안전율 ◦ 변위 ◦ 응력	—
	지진시	◦ 안전율 ◦ 변위 ◦ 응력	—

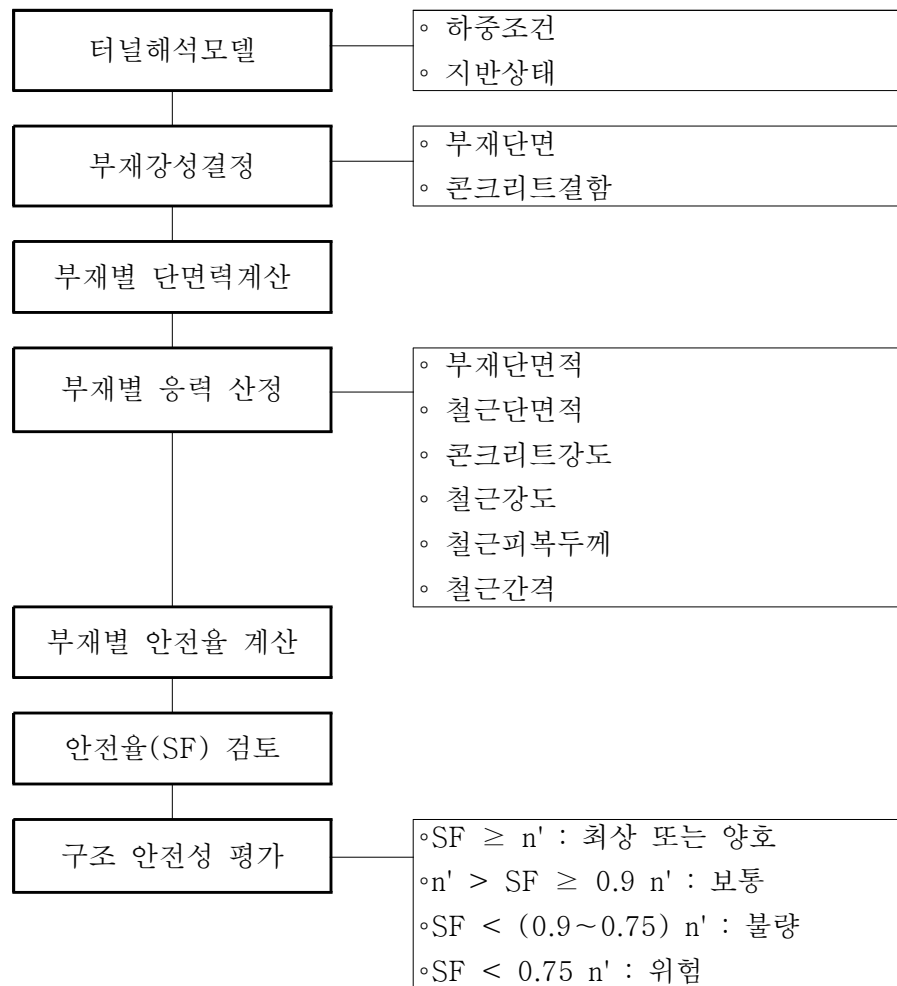
2) 구조안전성능 평가방법

터널의 구조안전성능 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 실제상태에 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 구조 해석 결과가 「건설기준코드(구 콘크리트 표준시방서)」의 안전도 기준에 미흡하다고 해서 구조물이 불안전 하다는 것이 아니라 단지, 구조물의 안전여유율이 작다는 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.



[그림 2.4] 구조안전성능평가결과 산정 방법

내진성능 평가는 필요시에 실시하는 것으로 「기존시설물(터널) 내진성능 평가요령 (2011, 국토해양부)」 내용을 참고하여 평가한다.

3) 구조안전성능 평가기준

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 상태안전성평가결과가 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 건설기준코드 등에 나와 있는 값을 참고로 하여 구한다.

상기와 같은 내용을 근간으로 검토한 휨, 전단, 압축 등의 최저 안전율 정도에 따라 구조물의 안전성에 대한 평가기준을 설정하면 다음 표와 같다. 구조안전성능의 평가등급에 따른 결함지수는 구조물의 안전측면을 고려하여 각 등급의 결함지수 범위 중 최저치를 사용하며 설정된 결함지수는 아래의 표와 같다.

[표 2.34] 구조안전성능평가기준치

평가등급	내 용	결함지수
A	안전율(SF)이 1.0 이상이고 주부재에 손상 ¹⁾ 이 없는 경우	0.14
B	안전율(SF)이 1.0 이상이고 주부재에 손상(단면손실)이 있는 경우	0.29
C	안전율(SF)이 1.0 미만~0.9이상	0.54
D	안전율(SF)이 0.9 미만~0.75이상	0.74
E	안전율(SF)이 0.75 미만	0.99

주1) 중대결함, 관통균열, 철근배근 누락, 라이닝 설계두께 1/3초과 단면손실 등

2.4.3 안전성능 결과 산정 방법

가. 상태안전성능 결과산정 방법

1) 기본시설물 상태안전성능 결과산정

(가) 제1단계 : 라이닝 결함지수(f1) 산정

- ① 갯문 및 개착구간을 포함하는 본선라이닝의 평가단위(스팬 or 면적 등)별 성능지표별 최저의 결함점수를 부여한다.
- ② 라이닝 평가단위별 결함지수를 구한다.
- ③ 본선라이닝 전체에 대한 결함지수(f1)를 구한다. 이때에 라이닝 평가단위별 성능지표에 대한 결함점수를 산술평균하여 구한다.

(나) 제2단계 : 라이닝 상태안전성능 평가결과 산정

- ① 갯문 및 개착구간을 포함하는 본선라이닝의 평가단위별 성능지표와 결함점수에 대한 평가를 5단계의 등급(a, b, c, d, e)으로 평가함
- ② 본선라이닝 전체에 대한 성능지표별 결함점수(산술평균값)과 결함지수에 대한 평가를 5단계의 등급(a, b, c, d, e)으로 평가함
- ③ 터널주변 상태에 대한 배수, 지반, 공동구상태 및 특수조건 등의 결함점수를 부여함

(다) 제3단계 : 기본시설물 상태안전성능 평가결과산정

- ① 1단계의 라이닝 결함지수(f1) 산정 시 사용한 성능지표별 결함점수 산술 평균값과 2단계의 터널 주변상태 평가 결함점수를 합함
- ② 기본시설물의 결함지수(f)를 산정하고, 기본시설물 상태안전성능 등급을 5단계(A, B, C, D, E)로 평가함
- ③ 기본시설물의 상태안전성능 등급 산정

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

2) 부대시설물 상태안전성능 결과산정

[부대시설물]

(가) 제1단계 : 부대시설물별 결합지수(f_n) 산정

- ① 부대시설물 평가대상마다 성능지표별 최저의 결합점수를 부여함
- ② 부대시설물 평가단위별 결합지수를 구함
- ③ 부대시설물 전체에 대한 결합지수(f)를 구함. 이때에 부대시설물 성능지표에 대한 결합점수를 산술평균하여 구함

(나) 제2단계 : 전체 부대시설물 상태안전성능 평가결과 산정

- ① 부대시설물 평가대상별 성능지표와 결합지수에 대한 평가를 5단계의 등급(a, b, c, d, e)으로 평가함
- ② 부대시설물 평가항목(산술평균값)과 결합지수(f)에 대한 평가를 5단계의 등급(a, b, c, d, e)으로 평가함
- ③ 개별 부대시설물을 각각 평가한 후 산술평균하여 부대시설물 결합지수를 산정하고 전체 부대시설물 상태안전성능 등급을 5단계(A, B, C, D, E)로 평가함

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

여기서, f_n : 개별 부대시설물의 상태적 결합지수

N : 개별 부대시설물의 개수

(다) 제3단계 : 가중치(W) 부여

- ① 전체 부대시설물 결합지수(f)에 해당하는 가중치를 산정함

[표 2.35] 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 상태안전성 능 평가	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

[전체시설물]

(라) 제4단계 : 전체 시설물 상태안전성능평가결과산정

- ① 기본시설물 결합지수(f)에 부대시설물 가중치(W)를 곱하여 전체시설물의 결합지수(F)를 산정하고, 시설물 상태안전성능평가 등급을 5단계(A, B, C, D, E)로 평가함

시설물의 결합지수(F) = 기본시설물 결합지수(f) X 부대시설물 가중치(W)

② 전체시설물의 상태안전성능 등급 산정

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

3) 상태안전성능 평가결과산정 예시

상태안전성능평가의 근거자료 확인을 위해 결합점수가 부여된 결합물량 집계표는 외관망도 또는 부록에 수록하여야 한다.

‘도로터널-채래식터널-무근 콘크리트 라이닝’형식의 터널에 대한 상태안전성능평가 결과 산정(예)를 단계별로 구분하여 예시하였다.

[기본시설물]

(가) 제1단계 : 라이닝 결합지수(f1) 산정

Sheet No.	균열	누수	파손 및 손상	박리	충분리 및 박락	재료분리	결합점수 합계	라이닝 결합지수
1	7	3	6	3	2	0	21	0.42
2	4	0	2	3	1	3	13	0.26
3	4	0	2	1	0	0	7	0.14
4	4	0	4	2	1	1	12	0.24
5	7	3	2	1	2	1	16	0.32
산술평균	5.2	1.2	3.2	2.0	1.2	1.0	13.8	0.28

- ① “SHEET No 1”의 평가지표에 대한 최저등급의 결합점수를(균열 c-7, 누수 b-3, 파손 및 손상 d-6, 박리 d-3, 충분리 및 박락 c-2, 재료분리 a-0) 부여하고 라이닝의 결합점수 21점을 구함
- ② “SHEET No 1”의 라이닝 결합지수를 구한다. 이때에 도로터널 ASSM-무근 콘크리트 라이닝 결합지수(f1)(Σ 결합점수(21점)/ Σ 가중치(50)=0.42)를 구함
- ③ 상기 ①, ②와 같은 방법으로 나머지 SHEET의 결합점수를 구하고 라이닝 5개 SHEET의 결합점수에 대한 산술평균값을 구한 후 가중치의 합으로 나누어 전체 라이닝의 결합지수를 구함

- 평가지표 결합점수 : 균열 5.2, 누수 1.2, 파손 및 손상 3.2, 박리 2.0, 층분리 및 박락 1.2, 재료분리 1.0, 결합점수 합계 13.8점
- 라이닝 결합지수(f) : $0.28(13.8/50=0.28)$

(나) 제2단계 : 라이닝 상태안전성능 평가결과 산정

Sheet No.	균열	누수	파손 및 손상	박리	층분리 및 박락	재료분리	라이닝등급
1	c	b	d	d	c	a	c
2	b	a	b	d	b	d	b
3	b	a	b	b	a	a	a
4	b	a	c	c	b	b	b
5	c	b	b	b	c	b	c
산술평균	c	a	c	c	b	c	b

- ① 라이닝 쉬트별 성능지표와 결합지수에 대한 등급을 5단계(소문자 a, b, c, d, e)로 매김
- ② 라이닝 2개 쉬트의 성능지표에 대한 산술평균값과 결합지수에 대한 등급을 5단계(소문자 a, b, c, d, e)로 매김

(다) 제3단계 : 터널 주변상태 결합점수 산정

Sheet No.	내공단면 변형여부	배수상태	공동구 상태	지반상태	배면공동 유무	특수조건	결합점수 합계	주변상태
1	4	2	1	2	2	1	12	0.24
2	0	0	0	2	2	1	5	0.10
3	7	3	1	2	2	1	16	0.32
4	4	4	2	2	1	1	14	0.28
5	4	2	0	2	0	1	9	0.18
산술평균	3.8	2.2	0.8	2.0	1.4	1.0	11.2	0.22

- ① “SHEET No. 1”의 성능지표에 대한 최저등급의 평가점수를(내공단면 변형여부 b-4, 배수상태 b-2, 공동구 상태 b-1, 지반상태 b-2, 배면공동 유무 b-2, 특수조건 b-1) 부여하고 평가점수의 합산하여 터널주변의 결합점수를(12점) 구함
- ② “SHEET No. 1”의 터널주변의 결합지수(Σ 결합점수(12점)/ Σ 가중치(50점)=0.24)를 구함
- ③ 상기 ①, ②와 같은 방법으로 나머지 SHEET에 대하여 결합지수를 구함. 라이닝 5개 SHEET의 평가지표에 대한 산술평균값을 구한 후 터널주변 결합지수를 구함
 - 평가지표 결합점수 : 내공단면 변형여부 3.8, 배수상태 2.2, 공동구상태 0.8, 지반상태 2.0, 배면공동 유무 1.4, 특수조건 1.0, 결합점수 합계 11.2점
 - 터널주변 결합지수(f) : $0.22(11.2/50=0.22)$

(라) 제4단계 : 기본시설물 상태안전성능 평가결과 산정

구분	라이닝						터널주변						합계
	균열	누수	파손 및 손상	박리	충분리 및 박락	재료 분리	내공단면 변형여부	배수 상태	공동 구 상태	지반 상태	배면 공동 유무	특수 조건	
결합 점수	5.2	1.2	3.2	2.0	1.2	1.0	3.8	2.2	0.8	2.0	1.4	1.0	25.0
결합 지수	$\text{기본시설물 결합지수}(f) = \frac{\sum \text{결합점수}}{\sum \text{가중치}} = \frac{25}{100} = 0.25$												
												상태안전성능 평가 등급	B

- ① 제1단계의 라이닝 결합지수 산정 시 사용한 평가지표별 결합점수 산술평균값 (결합점수 : 균열 5.2, 누수 1.2, 파손 및 손상 3.2, 박리 2.0, 충분리 및 박락 1.2, 재료분리 1.0, 합계 13.8점)과 터널주변 결합점수(결합점수 : 내공단면 변형 여부 3.8, 배수상태 2.2, 공동구상태 0.8, 지반상태 2.0, 배면공동 유무 1.4, 특수 조건 1.0, 합계 11.2점)를 합하여 기본시설물 결합점수 25.0점을 구함
- ② 기본시설물 결합지수(f) (결합지수(f) : $\sum \text{결합점수}(25\text{점}) / \sum \text{가중치}(100\text{점}) = 0.25$)를 구한 후 결합지수에 대한 5단계(A, B, C, D, E) 등급 중 해당등급(B)을 부여함

(마) 조합 시 연장별 평가방법

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

- ① 한 터널의 철근구간, 무근구간, 조적구간에 대해 제1단계의 라이닝 평가항목별 결합점수 산술평균값에 주변상태점수를 합하여 결합점수 산정 후 각 구간별 결합지수를 각각 산정한다.
- ② 연장별 가중치를 산정한다(연장별가중치 = 해당구간 연장/ 전체연장).
- ③ Σ (각 구간별 결합지수×연장별 가중치)를 구한 후 결합지수에 대한 5단계(A, B, C, D, E) 등급 중 해당 상태안전성능 등급을 산정한다.

시설물명	라이닝 결합점수		주변 상태	결합지수	연장별 가중치	기본시설물 결합지수 (f)	상태안 전성능 평가 등급
00터널	철근구간	17.8	13.4	31.2/100=0.312	0.36 (360m)	0.263	B
	무근구간	9.8	12.3	22.1/100=0.221	0.46 (460m)		
	조적구간	15.7	11.5	27.2/100=0.272	0.18 (180m)		

[부대시설물]

(가) 제1단계 : 부대시설물별 결합지수(f) 산정

시설물 구분	균열	누수	파손 및 손상	박리	충분리 및 박락	재료분리	결합점수 합계	라이닝 결합지수
연결통로 1	4	0	0	1	0	0	5	0.10
연결통로 2	4	0	2	0	1	1	8	0.16
산술평균	4.0	0	1.0	0.5	0.5	0.5	6.5	0.13

- ① "연결통로 No. 1"의 평가지표에 대한 최저등급의 결합점수를(균열 b-4, 누수 a-0, 파손 및 손상 a-0, 박리 b-1, 충분리 및 박락 a-0, 재료분리 a-0) 부여함.
부대시설물의 결합점수 5점을 구함
- ② "연결통로 No. 1"의 결합지수를 구함 (Σ 결합점수(5점)/ Σ 가중치(50점))
- ③ 성능지표에 대한 산술평균값을 구한 후 부대시설물의 결합지수를 구함
 - 평가항목 결합점수 : 균열 4.0, 누수 0.0, 파손 및 손상 1.0, 박리 0.5, 충분리 및 박락 0.5, 재료분리 0.5, 결합점수 합계 6.5점
 - 부대시설물 결합지수(f) : 0.13(6.5/50=0.13)

(나) 제2단계 : 전체 부대시설물 상태안전성능 평가결과 산정

부대시설물	균열	누수	파손 및 손상	박리	충분리 및 박락	재료분리	부대시설물 등급
연결통로 No. 1	b	a	a	b	a	a	a
연결통로 No. 2	b	a	b	a	b	b	b
산술평균	b	a	a~b	a~b	a~b	a~b	a

- ① 부대시설물별 성능지표와 결합지수에 대한 등급을 5단계(소문자 a, b, c, d, e)로 매김
- ② 부대시설물의 성능지표에 대한 산술평균값과 결합지수에 대한 등급을 5단계(소문자 a, b, c, d, e)로 매김
- ③ 상기의 과정을 부대시설물별로 반복하여 부대시설물별 결합지수 산정
- ④ 개별 부대시설물 결과를 산술평균하여 부대시설물 결합지수를 산정하고 등급을 5단계(소문자 a, b, c, d, e)로 매김

(다) 제3단계 : 가중치(W) 부여

부대시설물	개별 부대시설물 결합지수	전체 부대시설물 결합지수(f)	부대시설물 가중치	가중치 결정
연결통로 No. 1	0.1	0.13	$0 \leq f < 0.15$	1.0
연결통로 No. 2	0.16			

[전체시설물]

(라) 제4단계 : 전체 시설물 상태안전성능 평가결과 산정

① 기본시설물 결합지수(f)에 부대시설물 가중치(W)를 곱하여 전체시설물의 결합지수(F)를 산정한다.

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

② 전체시설물의 상태안전성능등급 산정

시설물명	기본시설물 결합지수(F)	부대시설물 가중치(W)	결합지수(F)	상태안전성능등급
OO터널	0.25	1.0	0.25	B

나. 구조안전성능 결과산정 방법

1) 구조안전성능 결과산정

(가) 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 야기될 지 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 가진다.

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

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 2.34]와 같이 구조안전성능을 평가한다.

○ 안전성평가는 일반적으로 수치해석을 통한 부재의 응력크기로 평가

- 안전율 SF=1 이상인 경우 : A등급으로 평가
- 안전율 SF=1 이상이거나 같은 경우로서 손상이 있는 경우 : B등급으로 평가
- 안전율 SF=1보다 작은 경우 : C, D, E등급으로 평가
 - C등급 : $0.90 \leq SF < 1.0$
 - D등급 : $0.75 \leq SF < 0.90$
 - E등급 : $SF < 0.75$

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

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

(나) 굴착터널(Mined Tunnel : 채래식, NATM 터널)

굴착터널에 대한 구조안전성능 평가는 설계개념의 안전율을 도입했을 경우에는 안전율 산정이 가능하므로, [표 2.34]와 같이 구조안전성능 평가결과를 산정한다. 그러나 설계개념의 안전율을 도입하지 않은 경우에는 터널 상태안전성능 평가 시 지반상태와 라이닝 변상 등을 기 반영하였고, 구조안전성능 평가를 정량화하여 A, B, C, D, E 등급으로 분류하기가 곤란하므로 안전, 불안전 여부만을 평가하고 안전할 경우 A등급, 불안전할 경우에는 E등급을 부여한다.

일반적으로 터널은 지반조건이 서로 다르기 때문에 대표단면 선정의 타당성, 지반정수의 정확성, 단층 및 절리 등의 불연속면 특성의 포함여부, 해석방법 등에 따라 구조안전성능 평가결과가 좌우된다. 산악터널과 도심지 터널의 주변지반조사의 어려움으로 인해 지반정수의 가정을 통한 터널해석에는 많은 오차를 포함하고 있다.

설계개념의 안전율을 도입하지 않은 경우 터널해석은 각종 변상과 변위에 따라 수치해석 및 역해석을 실시하여 보수·보강 범위를 산정하고 있으므로 구조안전성능 평가를 정량화하여 A, B, C, D, E 등급으로 분류하기가 곤란하여 반영하지 않고 안전, 불안전 여부만을 평가하고 안전할 경우 A등급, 불안전할 경우에는 E등급을 부여한다.

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 구조안전성능을 제시할 수 있다.

이런 경우 라이닝의 강도와 지반특성을 수치해석에 반영하여 터널라이닝의 설계기준 강도에 대비하여 안전율을 판단함으로써 안전성여부를 평가하는데 참고자료로 활용한다.

2) 구조안전성능 평가결과산정 예시

(가) 안전율을 도입한 경우의 방법

개착터널(cut and cover)과 굴착터널(Mined Tunnel)중 설계당시 안전율을 도입한 경우에는 구조안전성능 평가결과산정 방법을 다음과 같이 예시하였다.

[표 2.36] 터널의 구조안전성능 평가결과산정(개착터널) 예

시설물 구조안전성능 평가결과산정 표			
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
구조안전성능평가결과	◦ 최저 안전성능평가결과 = C, 결함지수 = 0.54		

[표 2.37] 터널의 구조안전성능 평가결과산정(ASSM 터널) 예

시설물 구조안전성능 평가결과산정 표			
시설물명	○○○ 터널		표번호 TS. NO.4
부재구분	안전율(SF)	평가결과	비 고
콘크리트라이닝 전단응력	2.5	a	
콘크리트라이닝 압축응력	1.8	a	
구조안전성능평가결과	◦ 최저 안전성능평가결과 = A, 결함지수 = 0.14		

(나) 안전율을 도입하지 않을 경우의 방법

안전율을 도입하지 않은 경우 수치해석에 의한 구조안전성능 평가방법은 다음과 같다.

[표 2.38] 터널의 구조안전성능 평가결과산정(NATM터널) 예

시설물 구조안전성능 평가결과산정 표			
시설물명	○○○ 터널	표번호	TS. NO.5
부재구분	변위 또는 응력	구조안전성능 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	
구조안전성능평가 결과	◦ 구조안전성능평가결과 : 안전 ※ 일반터널(Mined Tunnel)에서 안전성평가를 정량적으로 표시할 수 없는 경우는 정성적으로 표시함		

다. 안전성능 평가결과산정 방법

1) 안전성능 평가결과산정

평가대상 터널에 대하여 상태 및 구조 안전성능 평가를 실시한 후 그 결과에 의해 산출된 상태안전성능 평가등급과 구조안전성능 평가등급을 비교하여 최저 등급을 최종 안전성능 평가 등급으로 결정한다.

$$\text{터널의 안전성능 평가 등급} = \text{Min}(G_c, G_s)$$

여기서, G_c : 터널의 상태안전성능 등급

G_s : 터널의 구조안전성능 등급

2) 안전성능 평가결과산정 예시

평가대상 터널에 대하여 안전성능 평가 산정 절차를 예시하면 다음과 같다.

[표 2.39] 터널의 안전성능 평가결과산정(NATM터널)

시설물 안전성능 평가결과산정 표				
시설물명	○○○ 터널		표번호	TS. NO.4
평가구분	결함지수	평가결과	비 고	
상태안전성능 평가	0.25	B	근거 표번호	
구조안전성능 평가	0.14	A	근거 표번호	
안전성능 평가결과	◦ 안전성능평가결과 = B ◦ 안전성능 평가지수(ps) = 0.25			

2.5 내구성능 평가기준 및 방법

2.5.1 내구성능 평가기준 및 방법

가. 일반

콘크리트의 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전평가에 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복 콘크리트의 품질, 열화환경평가에는 제설제에 의한 염해환경, 비래염분에 의한 염해환경 및 동결융해의 반복에 의한 동해환경이 포함된다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 종합 등급에는 열화진전평가만이 사용되고, 열화환경평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

[표 2.40] 콘크리트 내구성능 평가항목의 구분

열화진전 항목	열화환경 항목
염화물 침투량 탄산화 깊이 피복(표면부) 콘크리트의 품질	염해환경 동해환경

나. 평가대상 부재

터널(도로/철도)의 경우, 무근콘크리트 및 철근콘크리트 등 2가지의 사용재료에 따라 평가지료를 설정하였으며, 세부 부재는 ‘본선라이닝’, ‘갯문(구)’, ‘환기구콘크리트’로 구분하였다.

[표 2.41] 평가대상의 구분

시설명	세부구분	부재명
터널	도로터널	본선라이닝
		갯문(구)
		환기구콘크리트
	철도터널	본선라이닝
		갯문(구)
		환기구콘크리트

다. 평가지표별 기준 및 점검방법

1) 염화물 침투량

[표 2.42] 염화물 침투량 평가등급

등급	철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	철근부 전염화물 침투량 $C_r(kg/m^3)$	비 고
a	30년 초과	0.3 이하	
b	20년 초과 ~ 30년 이하	$0.3 < C_d \leq 0.6$	
c	10년 초과 ~ 20년 이하	$0.6 < C_d \leq 1.2$	
d	5년 초과 ~ 10년 이하	$1.2 < C_r < 2.5$	
e	5년 이하	2.5 이상	

<해 설>

- 염화물 확산계수를 산정하고 표면부 염분량을 고려하여 대상 구조물의 염해 수명을 평가하는 것은 반드시 필요한 사항이라고 판단되지만, 평가결과 값이 여러 가지 조건에 따라 달라질 수 있는 여지가 있기 때문에 “철근부의 전염화물 침투량”과 “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”을 각각 평가하여 열악한 등급을 염화물량 평가등급으로 설정한다.
- “철근부의 전염화물이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”의 경우, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 가 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.
- 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 을 넘어서는 시점이 5년 이하로 남은 경우 e등급을 설정한 것은 차기 점검시점을 약 5년을 가정하고 이 시점 이전에 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 를 넘어설 가능성이 있기 때문이다.
- 한편, b, c, d등급의 경우 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 이 되는 시점이 30년 이하인 경우 염해가 진전되고 있다고 판정한 것이며, 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수가 짧을수록 낮은 등급을 부여한다.
- 책임기술자는 염해가 어떻게 진전될 것인지에 대한 예측을 위하여 철근부의 전염화물량이 $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수를 산정할 때 철근의 부식이 개시될 가능성이 있는 $1.2kg/m^3$ 에 도달하는 연수도 산정하고 보고서에 별도로 기재하여 유지관리 책임자들이 참고한다.
- 책임 기술자의 판단하에 보수/보강, 환경 등의 영향으로 염소이온의 유효확산수($cm^2/년$)를 파악하기 어려운 경우 철근부 전염화물 침투량(kg/m^3)으로만 평가한다.
- 염소이온의 유효확산계수($cm^2/년$) 산정이 불가능한 경우는 아래와 같다.
 - 표면부가 아니라 콘크리트 내부에서 염화물 침투량의 최대값이 나타나게 되는 경우
 - 피복(표면부) 콘크리트에 대한 보수/보강이 진행된 경우
- 단, 철근부 전염화물 침투량으로만 평가를 진행한 경우에도 깊이별 염화물량 측정 결과를 보고서에 별도로 기재하여, 등급 산정의 근거로 활용한다.

2) 탄산화 깊이

[표 2.43] 탄산화 깊이에 따른 평가기준

등급	평가내용	비고
a	30년 초과	평가결과로부터 탄산화 속도계수를 산정 후 탄산화 속도계수 $A = \frac{D}{\sqrt{t}}$ $T = \left[\frac{\text{설계피복두께}}{\text{탄산화속도계수}} \right]^2 - t$ (T: 잔여피복두께가 모든 탄산화되는 시간, D: 탄산화 깊이, t: 공용연수)
b	20년 < T ≤ 30년	
c	10년 < T ≤ 20년	
d	5년 < T ≤ 10년	
e	5년 이하	

<해설>

- 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여피복두께가 모두 탄산화되는 시간 T를 구하는 시간적 개념을 포함한다.
- 피복두께 실측치가 있는 경우 설계피복두께가 아닌 실측치를 활용하여 평가를 진행한다.
- e등급을 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T가 5년 이하로 남은 경우로 설정한 것은 차기 조사시점을 약 5년 후로 가정할 때 이 시점 이전에 잔여피복이 모두 탄산화될 가능성을 고려한 것이다.
- 또한, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.

3) 피복(표면부) 콘크리트 품질

초기 시공불량의 경우, 피복콘크리트에 전반적인 내구성능 저하가 나타날 수도 있으며, 공용 중의 품질저하는 동해(수분의 공급과 동결융해 사이클이 필요) 등과 같은 열화요인에 의하여 국부적으로 나타나는 경우가 많을 것이다. 피복콘크리트품질의 경우 반발경도 측정 결과를 활용하여 평가를 수행한다.

(가) 설계강도값과 비교할 경우

[표 2.44] 피복(표면부) 콘크리트 품질에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용	비고
a	$100\% \leq q_{cl}^{1)}$	피복콘크리트의 내구성능이 양호한 상태
b	$90\% \leq q_{cl} < 100\%$	동해 등에 의해 피복콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함
c	$q_{cl} < 90\%$	동해 등에 의해 피복콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	—	—
e	—	—

주1) $q_{cl} = (\text{측정강도} \div \text{설계기준강도}) \times 100\%$

<해 설>

- 피복(표면부) 콘크리트의 품질은 슈미트해머를 이용해 반발경도를 측정하여 표면부 콘크리트의 내구성능 저하상태를 평가한다.
- “a”등급은 강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상으로 피복 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태이며, “b”등급은 설계값의 10% 정도로 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하될 가능성이 있다.
- “c”등급은 강도 추정값이 설계값 대비 10% 이상 저하되었을 경우이며, 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하가 진전된 상태이다.

(나) 건전부/비건전부를 비교할 경우

[표 2.45] 건전부/비건전부의 상대적 비교에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용	비고
a	$95\% \leq q_{c2}^{1)}$	건전부 대비 큰 차이를 보이지 않음
b	$85\% \leq q_{c2} < 95\%$	동해 등에 의해 피복콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함
c	$q_{c2} < 85\%$	동해 등에 의해 피복콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	—	—
e	—	—

주1) $q_{c2} = (\text{비건전부 반발경도 값} \div \text{건전부 반발경도 값}) \times 100\%$

<해 설>

- 건전부와 비건전부를 상대적으로 비교하는 방법으로서 측정된 반발경도값을 통하여, 반발경도 값을 직접 비교하여 판정하는 방법을 적용한다.
- 동일한 건전부끼리 상호비교하더라도 두 지점간에 일부 편차를 있을 수 있다는 가정하에 약 5% 정도의 편차를 반영하여 95% 이상일 경우 “a”등급으로 설정하며, 85% 미만일 경우 “c” 등급으로 설정한다.
- 여기서 건전부는 특이한 표면 손상과 누수가 없고 표면부 열화가 진행되지 않은 부위이며, 비건전부는 누수 등으로 자주 습윤상태가 되거나, 우수에 노출된 부재 및 기타 표면부의 열화가 진행된 부위로 해당 구간 중 상대 비교하여 가장 취약한 부분을 비건전부로 구분한다.
(단, 건전부를 특정하기 어려운 경우 면처리를 통해 열화된 표면부를 제거한 후 실시한다.)

4) 염해환경

[표 2.46] 염해환경의 평가기준(해안거리)

항목	등급	해안	적용지역	해안으로부터 거리 X(m)
해안거리에 따른 비래염분 염해환경	a	동해안	전지역	500 초과
		서해안	고창, 태안	1,000 초과
			그 외 지역	300 초과
		남해안	사천, 거제	100 초과
			그 외 지역	20 초과
	b	동해안	전지역	$250 < X \leq 500$
		서해안	고창, 태안	$500 < X \leq 1000$
			그 외 지역	$120 < X \leq 300$
		남해안	사천, 거제	$50 < X \leq 100$
			그 외 지역	$10 < X \leq 20$
	c	동해안	전지역	비말대* $< X \leq 250$
		서해안	고창, 태안	비말대 $< X \leq 500$
			그 외 지역	비말대 $< X \leq 120$
		남해안	사천, 거제	비말대 $< X \leq 50$
			그 외 지역	비말대 $< X \leq 10$
	d	—	—	—
	e	—	—	—

* 비말대 : 해수가 직접 닿지는 않으나 파도가 칠 때 튀어오르는 물방울이 미치는 범위

[표 2.47] 염해환경의 평가기준(제설제)

항목	등급	강설일수(일)
제설제 염해환경	a	강설일수 < 7
	b	$7 \leq \text{강설일수} < 14$
	c	$14 \leq \text{강설일수}$
	d	—
	e	—

<해 설>

- 염해환경은 해안으로부터 날아들어 오는 대기중의 비래염분에 의한 염해환경과 겨울철 강설에 따른 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경으로 구분한다.
- 상기 항목은 각각 해안인접성과 강설일수를 기본 항목으로 정하고 등급을 설정한다.
- 해안 인접성의 경우 동해와 서해를 동일한 조건으로 고려하고, 해안의 형상, 구조 및 환경에 따라 다른 해역에 비해 비교적 비래염분이 적은 남해는 동해 및 서해와 달리 완화된 등급을 부여함을 원칙으로 하였다.
- 강설일수는 동절기 제설제 환경에 노출된 콘크리트 시설물의 내구성능 저하를 고려하기 위한 평가항목으로, 강설 시 무조건 제설제를 살포하는 것으로 가정하되, 당일 추가살포는 고려하지 않으며 강설일수가 14일 이상이면 c 등급을 부여한다.
- 강설일수는 최심신적설(하루동안 내린 눈이 최대로 깊었던 적설량)이 발생한 일수의 최근 10년간 평균값으로 취한다.

5) 동해환경

[표 2.48] 동해환경의 평가기준

등급	동결융해 반복지수(X)	비고
a	$X < 3$	※ 기상청 데이터를 기반으로 동결융해 반복일수를 계산하여 평가에 사용
b	$3 \leq X < 50$	
c	$50 \leq X$	
d	—	
e	—	

<해설>

- X는 동결융해 반복지수로서 수분과의 접촉 여부로 구분하여 산정한다.
- 상기 수분 접촉 여부에 따른 구분에 있어 수분과의 직접적인 접촉이 없는 경우는 동결융해 사이클이 있더라도 동해를 입지 않기 때문에 강수로 인하여 상대습도가 매우 높은 상태에서
서만 동해를 받는다고 가정한다.
- 수분과의 접촉 여부는 책임기술자가 판단하여, 동일 부재 내에서 위치별 수분 접촉 정도가
다를 경우 ‘열악한 조건’을 기준으로 판단한다.

라. 내구성능 평가결과 산정 방법

1) 개요

내구성능 평가결과 산정방법은 내구성능 평가지표별 결과 중 가장 낮은 등급인 최저 등급을 반영한다. 부재별 내구성능 평가결과에는 부재별 가중치를 고려하여 등급을 도출한다.

열화진전평가는 각 세부부재별로 정해진 시험수량과 개소에서 실시하며, 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 실시한다. 열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 종합등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

2) 결과산정절차 일반

(가) 열화환경 평가(전체 시설물 대상)

내구성능 평가에 있어 열화환경 평가는 제설제 염해환경, 비래염분 염해환경, 동해환경의 3개 열화환경평가 지표로 이루어진다. 열화환경평가는 3가지 환경지표를 독립적으로 평가하여 도출하며, 평가결과는 열화진전평가와는 별도로 관리하여 대상 구조물의 유지관리 활동에 활용한다.

열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 판정하며, 각 등급별 열화환경의 상태는 아래와 같다.

[표 2.49] 열화 환경 평가기준

평가등급	열화 환경 상태
a	양호한 열화환경으로서 내구성능 저하의 가속요인이 거의 없는 상태
b	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 생길 수 있는 상태
c	대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 가속될 수 있는 상태
d	—
e	—

○ 염해환경

- 염해환경은 해안으로부터 날아들어 오는 대기중의 비래염분에 의한 염해환경과 겨울철 강설로 인하여 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경으로 나누어서 평가한다.

○ 동해환경

- 대상 터널이 위치한 지역의 10년간 동절기 기상청 데이터를 기준으로 동해환경을 파악하여 동결융해 반복지수를 도출하고, 동결융해 환경등급을 평가한다.
- 동일한 동결융해 사이클에 노출되어 있더라도 동결융해에 대한 위험도는 부재별 수분공급 환경에 따라 다르며, 열화환경 등급으로 반영되는 동결융해 환경은 수분에 노출되는 부재의 동결융해 사이클 수가 되며, 수분에 노출되지 않는 부재의 동결융해 사이클 수(강수가 있을 때만 해당됨)는 비록 수분에 직접 노출되지 않더라도 동결융해에 대하여 취약할 수 있음에 대한 참고자료로서 활용한다.

(나) 열화진전 평가(부재수준의 평가)

이 단계에서는 각 세부부재별로 내구성능에 관한 열화진전평가를 실시한다. 터널의 경우 세부부재는 갱문, 본선 라이닝, 환기구 콘크리트가 대상이 된다. 또한 각 부재는 무근콘크리트와 철근콘크리트로 구분하여 평가한다.

내구성능 평가에 있어 열화진전 평가는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복 콘크리트의 품질의 3개 열화진전평가 지표로 이루어진다. 각 내구성능 평가함에 있어 가중치를 적용하지 않고, 각각의 평가항목에 대하여 가장 낮은 등급을 받은 지표의 평가결과를 준용하는 최저등급제를 적용한다.

- 탄산화 깊이, 염화물 침투량 및 피복 콘크리트의 품질 중 가장 낮은 평가등급이 대상 부재의 내구성능 등급이 된다.
- 최저등급제를 적용하는 것은 염해 혹은 탄산화 등 어느 한가지 지표에 의해서만 피해가 발생하여도 심각한 결과가 발생할 수 있으며 대책을 강구하여야 하기 때문이다.
- 다만, 피복 콘크리트의 품질은 측정된 개소별 각각의 평가 등급 점수를 산술 평균한다.

산출된 각 세부부재(ex. 본선라이닝, 갱문, 환기구콘크리트)의 내구성능 등급은 각 부재별 가중치를 고려하여 최종적으로 터널 시설물의 콘크리트 내구성능 평가등급을 도출한다.

각 세부 부재별 열화진전평가에 대한 내구성능 평가지표는 아래와 같으며, 외부 콘크리트와 내부 콘크리트에 대한 내구성능 평가를 각각 산출한다.

○ 본선라이닝/갱문(구)

<무근콘크리트>

지표명	
열화진전평가	표면부 콘크리트 품질

<철근콘크리트>

지표명	
열화진전평가	염화물 침투량
	탄산화 깊이
	피복콘크리트 품질

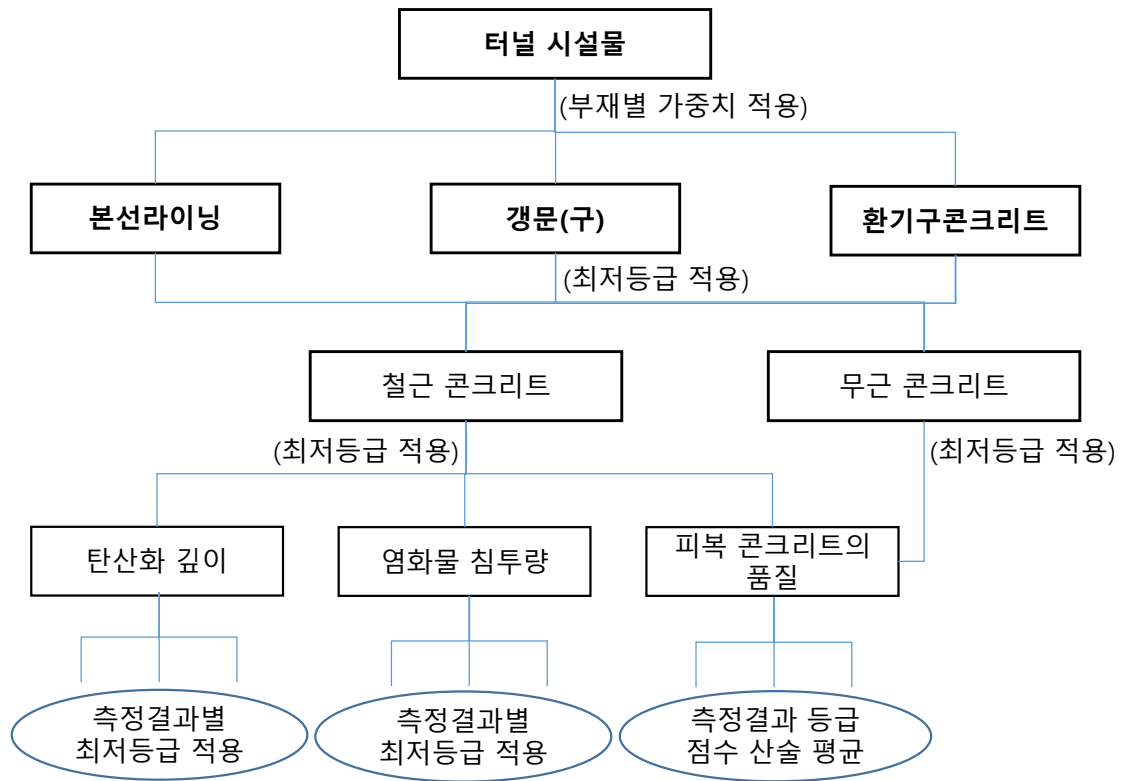
○ 환기구콘크리트

<무근콘크리트>

지표명	
열화진전평가	표면부 콘크리트 품질

<철근콘크리트>

지표명	
열화진전평가	탄산화 깊이
	피복콘크리트 품질



[그림 2.5] 터널의 내구성능 평가 예시

○ 등급별 평가점수 및 지수범위

- 부재별 등급에 따른 결함도 지수 및 최종 등급 산정을 위한 평가지수 범위는 다음과 같다.

[표 2.50] 평가등급에 따른 결함도 지수

a	b	c	d	e
0.08	0.23	0.43	0.65	0.88

[표 2.51] 등급 산정을 위한 내구성능 평가지수 범위

a	b	c	d	e
$0 \leq X < 0.15$	$0.15 \leq X < 0.30$	$0.30 \leq X < 0.55$	$0.55 \leq X < 0.75$	$0.75 \leq X$

(다) 세부부재 등급 산정 안에 따라 시설물 전체 등급 산정

각 부재별 가중치는 아래 표와 같으며, 각 부재별 가중치를 활용하여 터널의 콘크리트 내구성능 등급을 산정한다.

[표 2.52] 도로 및 철도터널의 세부 부재에 따른 가중치

시설명	세부 부재명	부재별 가중치(%) ^{주1)}			
도로, 철도터널	본선라이닝	60	70	90	100
	갯문(구)	30	30	—	—
	환기구콘크리트	10	—	10	—

주1) ◦ 부재가 모두 있는 경우

— 본선라이닝 : 갯문(구) : 환기구콘크리트 = 60 : 30 : 10

◦ 갯문 또는 환기구 콘크리트가 없는 경우, 해당 가중치를 본선라이닝으로 적용

— 본선라이닝 : 갯문(구) : 환기구콘크리트 = 100 : 0 : 0

(라) 세부 시설물 등급 산정 안에 따라 시설물 전체 등급 산정

터널의 콘크리트 내구성능 평가 등급은 최종적으로 아래와 같이 나타낸다.

[표 2.53] 열화진전평가

시설명	평가등급	부재명	평가등급
터널	A~E	본선라이닝	a~e
		갯문(구)	a~e
		환기구콘크리트	a~e

[표 2.54] 열화환경평가

열화환경지표	평가등급	터널의 주요 대상 부재
제설제 염해환경	A or B or C	철도터널의 경우 제설제를 사용하지 않기 때문에 제설제 염해환경은 a로 평가함
비래염분 염해환경	A or B or C	해안인근에 있어서 비래염분 환경에 있는 경우 갯문이 주요 대상 부재이며, 본선 라이닝은 갯문쪽 일부분만 대상이 됨
동해환경	A or B or C	누수가 있는 콘크리트 라이닝 부위와 갯문이나 본선 라이닝 하단부 등 수분의 공급이 있는 부재부분에 해당

3) 결과산정 예

○ 대상 터널

[표 2.55] 대상 터널 예시

콘크리트	일반 RC
지역	수원
공용연수	20년
연장	510m
피복 두께	50mm

(가) 열화환경 평가

- 대상 터널은 수원에 위치하여 해안거리에 따른 비래염분 염해환경은 a등급이 된다.
- 수원지역의 평균 강설일수는 12.4일로서 제설제 염해환경은 b등급이 된다.
- 또한 해당 지역의 동결융해 반복지수 X는 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우 11.6회, 수분과 직접 접촉하는 부재의 경우 60.7회로서 동결융해 환경은 c등급으로 평가되며, 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우는 동결융해 사이클이 연평균 11.6회로서 동결융해의 피해를 입을 수 있음을 확인한다.

(나) 열화진전 평가_염화물 침투량

- 염화물 침투량 시험은 철근을 피하여 철근 깊이까지 콘크리트 코어를 채취한 후 10~20mm 간격으로 절단하며 3개소 이상 평가한다.
- 염화물 침투량 평가등급은 철근부를 기준으로 평가한다.
- 부재별 평가등급은 측정 위치별 등급 중 최소등급을 적용한다.
- 대상 콘크리트 부재의 피복두께는 50mm로, 코어 시편을 채취하여 15mm 간격으로 절단하여 각 코어별로 4개의 깊이별 측정결과 확보한다.

[표 2.56] 염화물 침투량 평가

열화진전 평가항목	대상 부재	깊이별 염화물 침투량 (kg/m^3)				철근부 개별 평가등급	평가 등급
		표면부	중간부		철근부		
		0-2 mm	2-15 mm	15-30 mm	30-45 mm		
염화물 침투량	본선라이닝 No.1	1.5 (d)	1.05 (c)	0.4 (b)	0.1 (a)	a	c
	본선라이닝 No.2	1.5 (d)	0.98 (c)	0.4 (b)	0.1 (a)	a	
	갯문	4.5 (e)	3.5 (e)	1.8 (d)	0.8 (c)	c	

[표 2.57] 염화물 확산계수 산출

계산 항목	대상 부재	깊이별 염화물 확산계수 ($cm^2/year$)			
		표면부	중간부		철근부
		0-2 mm	2-15 mm	15-30 mm	30-45 mm
염화물 확산계수	본선라이닝 No.1	—	—	0.103	—
	본선라이닝 No.2	—	—	0.103	—
	갯문	—	—	—	0.194

* 확산계수는 깊이별로 산출할 수도 있음

[표 2.58] 철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가

열화진전 평가항목	대상 부재	계산 결과 (year)	개별 평가 등급	평가 등급
철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	본선라이닝 No.1	30년 초과	a	a
	본선라이닝 No.2	30년 초과	a	
	갯문	30년 초과	a	a

[표 2.59] 염화물침투량 최종 평가등급

시설물	염화물 침투량 평가	철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가
터널	c	a
	최종평가 c등급	

(다) 열화진전 평가-탄산화 깊이

- 탄산화 깊이의 측정은 본선 라이닝 2개소 및 갯문 1개소에서 실시한다.
- 각 부재별로 탄산화 깊이를 평가하며, 1개 세부부재 내에서는 개별 평가등급 중 최저등급을 대상 부재의 탄산화 깊이에 대한 평가등급으로 한다.

[표 2.60] 탄산화 깊이 평가

열화진전 평가항목	대상 부재	탄산화 깊이 (mm)	탄산화 속도계수	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T(년)	개별 평가등급	평가 등급
탄산화 깊이	본선라이닝 No.1	10	2.2	30년 초과	a	b
	본선라이닝 No.2	28	6.3	19	b	
	갯문	9	2.0	30년 초과	a	a

(라) 열화진전 평가-피복 콘크리트의 품질

- 피복 콘크리트의 품질은 본선라이닝 4개소, 갯문 4개소, 환기구 콘크리트 2개로 총 10개소에서 실시하였다.
- 세부 부재별 평가등급은 개별 평가등급에 따른 결함도 지수를 산술 평균하여, [표 2.51] 등급 산정을 위한 내구성능 평가지수 범위 기준을 바탕으로 평가한다.
- 피복 콘크리트 품질 산정 예로 갯문의 경우, 개소별 평가등급에 해당하는 결함도 지수 (X)를 산술평균하여 등급을 평가한다. $[(0.08+0.23)/2 = 0.155, \text{ b등급 } (0.15 \leq X < 0.30)]$

[표 2.61] 피복 콘크리트의 품질 평가

열화진전 평가항목	세부 부재	개별 평가등급		결함도 지수		산술평균	평가 등급
피복 콘크리트의 품질	본선라이닝	a	a	0.08	0.08	0.08	a
		a	a	0.08	0.08		
	갯문	a	a	0.08	0.08	0.12	a
		a	b	0.08	0.23		
	환기구 콘크리트	b	c	0.23	0.43	0.33	c

* 세부 부재 별 평가 등급은 개별 평가 등급에 따른 결함도 지수의 평균값을 바탕으로 산정함

(마) 콘크리트 내구성능 평가 요약

[표 2.62] 터널의 콘크리트 내구성능 평가

세부 부재명(가중치, %)	항목별 평가결과				
	염화물 침투량	탄산화 깊이	피복콘크리트 품질	부재평가결과 (결함도지수)	평가결과 (평가지수)
본선라이닝 (60)	a	b	a	b (0.23)	C (pd = 0.31)
갯문 (30)	c	a	b	c (0.43)	
환기구 콘크리트 (10)	—	—	c	c (0.43)	
	최저등급제				가중치 고려

[표 2.63] 열화환경지표의 평가

열화환경지표	평가등급
제설제 염해환경	B
비래염분 염해환경	A
동해환경	C

2.6 사용성능 평가기준 및 방법

2.6.1 일반

사용성능이란 시설물의 예상수요를 고려하여 공용연수 동안 확보해야 할 사용자 편의성 및 계획당시의 설계기준에 근거한 사용목적을 만족하기 위한 성능으로 정의한다.

시설물의 사용성능 평가는 사용성능과 기능성으로 구분되며, 사용성능은 사용자의 편의를 도모하는 시설의 성능으로 시설물에 대한 이용자의 만족도로 평가하며, 기능성은 시설물이 계획 당시의 목적대로 서비스를 제공할 수 있는 역량과 이를 유지할 수 있는 조건의 충족여부로 평가한다.

2.6.2 도로터널 사용성능 평가항목 및 기준

가. 일반

도로터널의 세부지표는 성능평가의 정의에 따라 사용성과 기능성으로 구분하고 해당 시설물의 특징을 반영하여 필요 성능을 도출한다. 도로터널에서는 사용성능에 직접적인 영향을 미치는 시설물의 성능으로 사용자의 만족도 측면에서 주행성, 방재성과 시설물의 기능유지 측면에서 유지관리성, 수요 및 용량을 적용한다.

나. 세부지표의 평가범위

도로(터널)의 사용성능은 주행성, 방재성, 유지관리성, 수요 및 용량의 관점에서 세부지표를 도출하였다. 이중 포장상태, 터널 내 휘도, 방재시설, 기계/전기설비, 교통량은 a~e로 범위를 정하고 비상대피시간은 a, c, e로 범위를 정한다.

[표 2.64] 세부지표별 적용 범위

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	차등 적용 범위
사용성	주행성	포장상태	a, b, c, d, e
		터널내 휘도	a, b, c, d, e
	방재성	방재시설	a, b, c, d, e
		비상대피시간	a, c, e
기능성	유지관리성	기계/전기설비	a, b, c, d, e
	수요 및 용량	통행량	a, b, c, d, e

도로(터널)의 사용성능 평가는 직접적인 수치로 계량할 수 있는 정량적 평가와 점검자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행한다.

다. 사용성능 평가 지표 및 기준

1) 주행성

(가) 포장상태

○ HPCI(고속도로)

[표 2.65] 고속도로 포장상태 성능평가기준

등급	등급기준	
	HPCI 범위	설명
a	4.0 초과	매우양호
b	3.5 초과 ~ 4.0 이하	양호
c	3.0 초과 ~ 3.5 이하	보통
d	2.0 초과 ~ 3.0 이하	불량
e	2.0 이하	매우불량

<해설>

- 고속도로의 포장상태지수 관리기준은 다음과 같고 아스팔트포장과 콘크리트 포장을 구분하여 적용한다.
- HPCI 산정식

아스팔트 포장: $HPCI_{10m} = 5 - 0.54 \times IRI^{0.8} - 0.75 \times RD^{1.2} - 0.9 \times \log(1 + 10 \times SD)$

콘크리트포장: $HPCI_{10m} = 5 - 0.8 \times IRI^{0.7} - 0.85 \times \log(1 + 10 \times 2.5SD)$

여기서, $HPCI_{100m} = \sum_{n=1}^{n+10} (HPCI_{10m})$

IRI (international roughness index) = 국제 평탄성 지수 (m/km)

RD(RUT depth) = 차바퀴 패임량(cm)

SD(Surface distress) = 노면 손상 환산 면적(m²)

$SD = \sum \text{각 선상 균열길이} \times 0.25 + \sum \text{각 면상균열면적}$

- 콘크리트, 아스팔트 포장의 HPCI 등급기준에서 제시된 7등급 단계에서 3,4등급을 평가등급의 C등급으로 5,6등급을 D등급으로 환산하여 평가 등급을 산정한다.
- IRI (국제평탄성지수) : 주행중 운전자가 느끼는 노면의 요철에 의한 진동을 표현할 수 있는 지수로 도로공사에서는 전문조사차량을 이용하여 노면 요철을 측정하여 프로그램으로 산출하고 그에 따른 DB를 구축하고 있다.
- RD (소성변형량): 광학적 라인을 비추어 라인의 굴곡을 이미지로 획득하여 이미지 처리를 거쳐 노면의 굴곡을 측정하는 방식이다.
- SD(표면손상) : 조사차량을 이용하여 100m간격으로 노면영상을 촬영하고 손상면적을 산정한다.

○ NHPCI(일반도로)

[표 2.66] 일반도로 포장상태 성능평가기준

등급	등급기준	
	NHPCI 범위	설명
a	6.0 초과	매우우수
b	$5.5 < \text{NHPCI} \leq 6.0$	우수
c	$4.0 < \text{NHPCI} \leq 5.5$	보통
d	$2.0 < \text{NHPCI} \leq 4.0$	불량
e	$0.0 < \text{NHPCI} \leq 2.0$	매우불량

<해 설>

○ NHPCI 산정식

$$\text{NHPCI} = \frac{1}{(0.33 + 0.003 \times X_{CR} + 0.004 \times X_{RD} + 0.0183 \times X_{IRI})^2}$$

이때, X_{CR} : 균열률(%)
 X_{RD} : 소성변형(mm)
 X_{IRI} : 종단평탄성(m/km)

(나) 터널 내 휘도

[표 2.67] 터널 내 휘도 성능평가기준

등급	등급기준
a	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가기준 보다 높은 상태
b	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가기준의 85% 이상
c	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가기준의 75% 이상
d	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가기준의 65% 이상
e	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가기준의 65% 미만

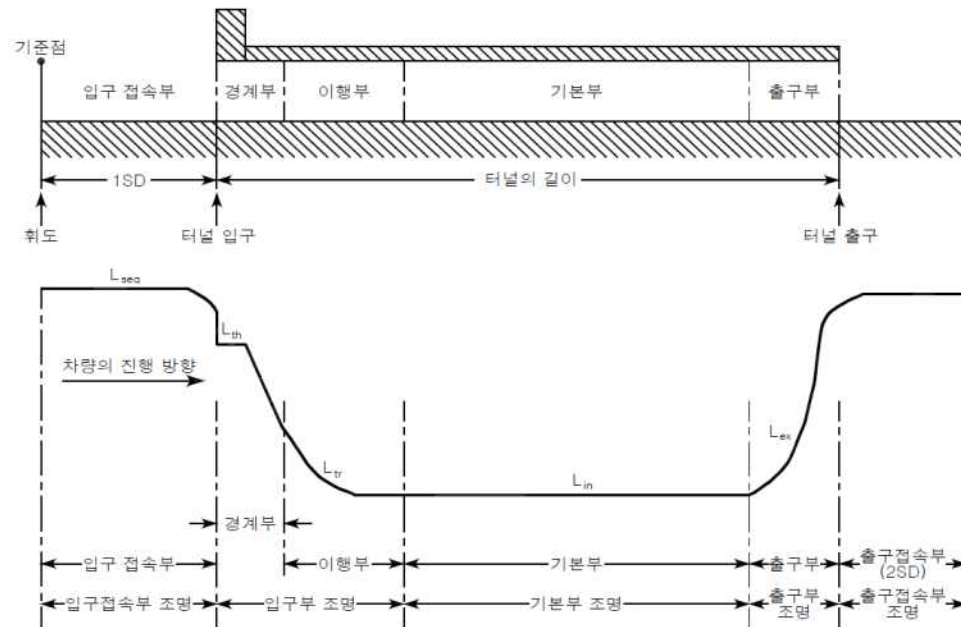
<해 설>

- 본 성능평가기준은 주간의 자동차 터널 도로의 경계부 및 기본부의 평균 휘도 KS C 3703을 참조하여 적용한다.
- 상기 기준은 설계속도 100km/h를 기준으로 설정하였고 80km에서는 -25% 된 값을 적용한다.
- 해당도로의 설계속도를 파악하고 그 기준을 제대로 충족하는지를 기준으로 성능을 평가한다.
- 단 터널의 방향이나 교통량에 따라 다른 기준을 적용한다. 경계부 평균휘도는 남향과 북향에 따라 다른 기준을 적용하고 기본부는 교통량에 따라 다른 기준을 적용한다.
- 경계부와 기본부를 각각 평가하여 낮은 등급을 적용한다.

[표 2.68] 설계속도에 따른 위치별 평균 휘도 [cd/m^2]

설계 속도 (km/h)	경계부 평균 휘도		기본부 평균휘도		
	남향	북향	적음	보통	많음
100	370	480	7	9	11
80	260	360	5	6.5	8
60	200	250	3	4.5	6

- KS C 3703 터널 조명기준에 따르면 기본부는 이행부 끝에서부터 출구부 시작점까지의 구역으로 기본부 조명은 터널 전체길이에 걸쳐서 거의 균일한 휘도를 확보하는 조명을 의미한다.
 - 반면에 경계부는 터널입구, 혹은 태양에 의한 입구 그림자 선으로부터 터널 안쪽으로 정지거리 만큼까지의 구역으로 경계부의 조명수준은 경계구역의 초반에서의 값과 같아야 한다.
 - 기본부 평균휘도는 교통량을 기준으로 명시하였고 교통량에 따라 다른 값을 적용한다.
- ① 터널 조명의 구성 <참조> 터널 조명 기준(KS C 3703: 2014)



[그림 2.6] 터널 조명의 구성(일방교통 터널의 세로단면도, 기술표준원 2014)

② 경계부 노면휘도에 대한 조절계수

[표 2.69] 경계부 노면휘도에 대한 조절계수(기술표준원 2014)

터널 길이	교 통 량 (1)	출구부 보임(기준점으로부터)				출구부 안보임(기준점으로부터)			
		주광 입사				주광 입사			
		좋은		나쁨		좋은		나쁨	
		벽면 반사율				벽면 반사율			
		30% 초과	30% 이하	30% 초과	30% 이하	30% 초과	30% 이하	30% 초과	30% 이하
50m 미만	전부	0% (주간 경계부 조명 필요 없음)				0% (주간 경계부 조명 필요 없음)			
50~100m	적음	0%	0%	0%	0%	0%	50%	50%	50%
100m 미만	보통	25%	25%	25%	25%	25%	50%	50%	50%
	많음	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
100~200m	적음	50%	50%	50%	50%	50%	100%	100%	100%
200m 미만	보통	75%	75%	75%	75%	75%	100%	100%	100%
	많음	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
200m 이상	전부	100%				100%			

주) (1)교통량 : 단위 [차량대수/시간/차로]

① 일방통행 : 많음 (1,000 이상), 보통 (1,000 미만~300초과), 적음(300이하)

② 양방통행 : 많음(300 이상), 보통(300미만~100초과), 적음(100이하)

③ 경계부 노면휘도

[표 2.70] 주간의 자동차 터널 도로의 경계부 노면 휘도 $L_t h$ [cd/m^2]

20도 원추형 시야 내의 경계부 평균 노면휘도 Lt h [cd/m ²]									
20도 원추형 시야내의 하늘의 비율		20%초과		20%이하~ 10%초과		10%이하~ 5%초과		5%이하~0%	
시야내의 밝기상황		터널 방위(1)				주변 반사(2)			
		남향	북향	남향	북향	보통	높음	보통	높음
설계 속도 (km/h)	60	200	250	150	200	125	175	75	150
	80	260	360	200	300	180	270	150	240
	100	370	480	280	400	240	360	200	320

주1) 터널 입구의 방위(남향: 남쪽입구, 북향: 북쪽입구)

- 터널 입구의 방위가 동-서쪽인 경우 노면의 휘도는 남향과 북향의 중간치를 선택함

주2) 터널 입구 주변의 반사에 따르는 영향

① 높음 : 터널입구 지물이 흰색, 회색 등의 반사율이 높을 경우를 말하며, 입구 부근에 장기간 적설상태가 계속되는 경우도 여기에 포함됨

② 보통 : 상기 이외의 경우를 말함

④ 기본부 노면휘도

[표 2.71] 주간 자동차 터널 도로의 기본부 평균 노면휘도 [cd/m^2]

정지거리(설계속도)	터널의 교통량		
	적음	보통	많음
160m (100km/h)	7	9	11
100m (80km/h)	5	6.5	8
60m (60km/h)	3	4.5	6

- 터널 경계부 노면휘도 값은 아래와 같이 결정한다.
- 터널의 설계속도와 주행방향을 확인하여 적용한다.
- 경계부 휘도에 대한 조절계수로 경계부 휘도 값에 곱하는 비율을 결정한다.
- 기준점 위치에서 터널을 향하여 사진을 촬영하고, 20° 원뿔의 바닥 원 (반경은 정지거리 $\tan 10^\circ$ 를 곱한 값)을 터널 입구를 중심으로 그려서 원 안의 하늘 면적 비율을 구하거나, 설계하고자 하는 터널에 가장 유사한 경관을 적용하여 기준점에서 터널을 바라볼 때의 하늘의 비율을 구한다.
- 주간 자동차 터널도로의 경계부 평균 노면휘도 값을 읽고, 경계부 노면휘도에 대한 조절계수의 비율(%)을 곱하여 산정한다.

2) 방재성

(가) 방재시설

[표 2.72] 방재시설의 성능평가기준

등급	등급기준	
	설치 유무	설치상태
a	방재시설이 설치기준에 따라 설치되었을 때	방재시설이 구비 또는 교체후 5년 이내이며 모두 양호한 상태
b	방재시설이 설치기준의 90% 이상 설치되어 있을 때	방재시설이 구비 또는 교체후 5년 이상이며 모두 양호한 상태
c	방재시설이 설치기준의 80% 이상 설치되어 있을 때	설치된 방재시설이 20% 미만의 수리 및 10% 미만의 교체가 필요 할 때
d	방재시설이 설치기준의 70% 이상 설치되어 있을 때	설치된 방재시설이 40% 미만의 수리 및 20% 미만의 교체가 필요 할 때
e	방재시설이 설치기준의 70% 미만으로 설치되어 있을 때	설치된 방재시설이 40% 이상의 수리 및 20% 이상의 교체가 필요 할 때

<해 설>

- 상기 표의 방재시설은 다음 표의 소화설비, 경보설비, 피난설비, 소화활동설비, 기타설비를 포함하며 터널의 연장별 방재시설 기준을 얼마나 만족하고 있는냐에 따라 등급을 설정한다.
- 설치유무와 설치상태를 반영하여 더 낮은 등급을 대상지표의 평가등급으로 산정한다.
- 점검 및 조사방법은 육안조사를 통하여 5등급으로 평가한다.
- 다음 표에서 터널연장 3,000m이상은 1등급, 1,000m이상~3,000m미만은 2등급, 500m이상~1,000m미만 3등급, 500m미만은 4등급이다.

[표 2.73] 방재시설의 설치기준

방재시설 \ 터널등급		1등급	2등급	3등급	4등급	비 고
소화 설비	소화기구	●	●	●	●	
	옥내소화전설비	●○	●○			연장등급, 방재등급 병행
	물분무설비	○				
경보 설비	비상경보설비	●	●	●		
	자동화재탐지설비	●	●			
	비상방송설비	○	○	○		
	긴급전화	○	○	○		
	CCTV	○	○	○	△	△: 200m 이상 터널
	영상유고감지설비	△	△	△		
	재방송설비	○	○	○	△	△: 200m 이상 터널
	정보표시판	○	○			
	진입차단설비	○	○			
피난 대피 설비	비상조명등	●	●	●	△	△: 200m 이상 터널
	유도등	○	○	○		
	대피 시설	피난연결통로	●	●	●	
		피난대피터널(1)	●	△		1등급: 피난대피터널을 우선 적용
		격벽분리형 피난대피통로(1)	△	●	●	2등급: 격벽분리형 피난 대피통로를 우선 적용
		비상주차대	○	○		
소화 활동 설비	제연설비	○	○			
	무선통신보조설비	●	●	●	△(2)	
	연결송수관설비	●○	●○			연장등급, 방재등급 병행
	(비상)콘센트설비	●	●	●		
비상 전원 설비	무정전전원설비	●	●	●	△(3)	
	비상발전설비	●○	●○	△		연장등급, 방재등급 병행

● 기본시설 : 연장등급에 의함 ○ 기본시설 : 방재등급에 의함
 △ 권장시설 : 설치의 필요성 검토에 의함
 (1) 피난연결통로의 설치가 불가능한 터널에 설치
 (2) 4등급 터널의 경우, 재방송설비가 설치되는 경우에 병용하여 설치함
 (3) 4등급 터널은 방재시설이 설치되는 경우에 시설별로 설치함

○ 방재시설의 설치기준에 따른 각종 부대시설에 대하여 육안조사 및 간단한 작동시험을 실시하여 평가한다.

○ 등급결정인자 : 방재시설 설치 기준 부합여부 및 설비 작동 상태

(나) 비상대피시간

[표 2.74] 비상대피시간의 성능평가기준

등급	등급기준
a	피난연락갱이 250m 이하 간격으로 설치됨, 또는 연장 500m 미만의 터널
c	피난연락갱이 250m 초과와 간격으로 설치됨
e	피난연락갱이 설치되어 있지 않음

<해설>

- 비상대피시간의 성능평가기준은 비상대피시간에 직접적으로 영향을 미치는 피난연락갱의 유무 및 피난연락갱의 설치간격, 건교부는 일방통행터널에서 대인용 피난연결통로의 설치간격은 250m이하로 하며, 3개소마다(750m 이하의 간격) 구급차량이 통과할 수 있는 차량용 피난연결통로를 설치하도록 규정한다.
- ‘도로 터널 방재시설 설치 및 관리지침(2019)’에서 터널연장이 1,200m 이하의 터널에서는 정량적 위험도 평가에 의해서 안전성 확보가 가능한 경우에는 최대 설치간격을 300m로 할 수 있음을 명시하고 있다. 따라서 비상대피에 대한 안전성이 확보된 연장 1200m 이하 터널은 피난연락갱 간격이 300m 이하로 설치된 경우 a 등급으로 평가하며, 300 m 초과로 설치된 경우 c 등급으로 평가한다. 단, 피난연락갱이 설치되지 않은 경우 e 등급으로 평가한다.
- 연장 500m 미만의 터널은 피난 시 입출구부의 거리가 250m 이하이므로 a등급으로 평가한다.
- 본 세부지침에서는 피난연락갱의 간격을 대피시간을 기준으로 다음과 같이 산정하였다.

[표 2.75] 각국의 기준 및 설계자료에 제시된 대피속도 (건설교통부, 2004)

구분	대피속도	비고
99 WRA(PIARC)보고서	0.5~1.5m/s	연기농도(가시도), 조명에 따라서 차이 있음
NFPA-code 130	약 1.0m/s	4%이하의 진입로
한국도로공사	0.8~0.9m/s	
터널기술	1.19m/s	Eureka test에 근거함
영국	0.7~1.0m/s	
스웨덴	0.7m/s	평균보행속도

[표 2.76] 화재시 대피시간기준(건설교통부, 2004)

구분	화재확산시간	인지시간	대피시간	보행속도
NFPA -130	6	1~2	4~5	1.01
RABT	5~7		3~5	1~1.5
스웨덴			3	0.7
Eureka test	6	1	5	1.19

- 본 세부지침에서는 화재확산시간을 6분을 기준으로 하여 6분 안에 대략 0.8~1.0m의 속도로 도달할 수 있는 거리인 250~300m로 정하였다.
- 설계도서를 확인하여 피난연락갱의 위치 및 간격을 확인하여 평가한다.

3) 유지관리성

(가) 기계/전기설비

[표 2.77] 기계/전기설비 성능평가기준

등급	등급기준
a	사용연수가 구비 또는 교체 후 3년 이내이며, 장치의 외관 및 작동에 불량인 없는 양호한 상태
b	사용연수가 구비 또는 교체 후 3년 이상이며, 장치의 외관 및 작동에 불량인 없는 건전한 상태
c	불량이 경미하여 작동에 영향이 없는 상태
d	상태 및 작동이 불량하여 수리가 필요한 상태
e	상태가 불량하여 설비의 작동이 불가능한 상태로 교체가 필요한 상태

<해 설>

- 기계/전기설비는 설계도서에서 명시된 기계/전기 시설의 각 장치의 설치유무를 먼저 판단하고, 현재의 외관 상태나 작동 상태 등을 점검한다.
- 각 장치별로 현재의 외관 상태나 작동 유무는 위의 표를 참조하여 평가한다.
- 종합적인 전기설비의 상태는 다음의 프로세스로 판단한다. 먼저 구성 장치들의 등급을 위의 표를 통해 결정하고 각 수변전설비, 예비전원설비, 감시제어설비, 환기 동력설비, 조명설비의 등급을 각각 구성장치들의 평균등급으로 산정한다.
- 그 후 수변전설비, 예비전원설비, 감시제어설비, 환기 동력설비, 조명설비의 등급 중 가장 낮은 등급을 기준으로 평가한다.
- 전기설비의 구분

[표 2.78] 전기설비의 구분

구분	구성	내용
수변전설비	수전설비	인입구 배선, 전력보호장치 등
	변전설비	접지, 변압기, 차단기, 제어장치 등 포함
예비전원설비	비상발전기	차단기, 계전기, 배선 등
	축전지설비	차단기, 배선, 등
	UPS(무정전전원)	축전지, 정전압정주파 전원장치
감시제어설비	자동제어설비	전력제어, 변압기온도제어, 조명제어, 교통관제(CCTV, 비상전화, 방송장비) 등 포함
	현장기기	전류변환기기, 전압변환기
환기동력설비	환기동력설비	케이블, 현장 개폐기, 콘덴서 등 포함
조명설비	조명설비	기본조명, 비상등, 외 포함

- 전기설비의 구분에 따른 각종 설비에 대하여 육안조사 및 간단한 작동시험을 실시하여 평가한다.
- 등급결정인자 : 설비 설치 유무, 설비 작동 상태

[표 2.79] 일반용 전기설비의 점검방법 및 기준 (「전기사업법」 시행규칙)

점검항목	점검방법 및 항목	점검기준
절연저항	주회로 및 분기회로 배선과 대지간의 절연저항 측정치	- 대지전압 150V 이하 : 0.1MΩ 이상 - 대지전압 150V 초과 300V 이하 : 0.2MΩ 이상 - 사용전압 300V 초과 400V 미만(비접지 계통) : 0.3MΩ 이상 - 사용전압 400V 이상 : 0.4MΩ 이상
인입구 배선	육안점검	- 규격전선의 사용 여부 - 전선 접속 상태 및 전선피복의 손상 여부 - 배선공사방법의 적합 여부
옥내배선	육안점검	- 규격전선의 사용 여부 - 전선피복의 손상 여부 - 배선공사방법의 적합 여부
누전차단기	육안점검	- 설치 및 작동 여부 - 열화 및 손상 여부
개폐기 (차단기)	육안점검	- 개폐기의 설치 여부 - 개폐기 설치 위치의 적합 여부 - 개폐기의 열화 및 손상 여부 - 정격퓨즈의 사용 여부 - 개폐기의 결선 상태 - 다선식 전로의 각 극 개폐장치 여부
접지저항	전기기계구 금속제 외함과 대지간의 접지저항 측정치	- 제3종 접지 : 100Ω 이하 - 특별 제3종 접지 : 10Ω 이하
그 밖의 항목		그 밖에 전기설비의 안전관리를 위하여 산업통상자원부장관이 정하는 사항

4) 수요 및 용량

(가) 교통량

[표 2.80] 교통량의 성능평가기준

등급	등급기준
a	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 100 이상일 때
b	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 90 이상 100미만일 때
c	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 80 이상 90미만일 때
d	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 70 이상 80미만일 때
e	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 70이하일 때

<해설>

- 도로(터널)의 수요 및 용량을 평가하기 위하여 가장 필수적인 사용자(운전자) 입장에서 교통량이 적절하여 편리하게 이용 가능한 시설인가 혹은 교통량이 많아 불편한가를 평가한다.
- 이를 평가하기 위한 평가방법으로 해당시설물에 대한 사후평가서를 참고하여 수요예측값 대비 수요실제값의 비율을 분석하고 해당 등급에 따라 평가한다.
- 건설기술 진흥법 제52조에 따르면 건설공사준공 후 5년 이내에 300억원 이상의 공공건설 공사에 대해서는 사후평가서를 작성하고 건설사업정보화시스템(www.calspia.go.kr)의 건설공사사후평가에 입력하도록 되어 있으며, 사업효율성 분석을 위하여 수요예측과 수요실제값을 입력하도록 되어 있다.
- 수요예측은 예비타당성조사 또는 타당성조사 당시의 수요 추정값인 예측치이며, 수요실제는 시설물의 신설 이후 사후평가단계에서 실측된 수요를 나타낸다.
- 도로터널의 경우 수요예측값 및 수요실제값에 대한 단위는 대/일을 사용한다. 사후평가 시스템에서 제공하지 않는 경우, 기존 타당성 조사에서 산정된 수요 예측값과 국가교통 DB의 실측값을 활용하여 산정한다.

라. 사용성능 평가결과 산정 방법

각 세부지표의 사용성능 평가 등급 산정은 단일 기준이 적용되는 경우와 복수의 기준이 적용되는 경우가 있다. 단일기준이 적용되는 경우는 해당 평가 등급을 활용하고 복수의 기준이 적용되는 경우는 복수의 평가결과 중 낮은 등급을 적용하여 해당 지표의 평가 등급을 결정한다.

해당 시설물의 최종 사용성능 평가는 각 세부평가 지표별 평가 등급에 평가 가중치를 반영하여 등급을 산정한다.

또한 사용성능 평가 시 세부지표별 가중치를 적용하되, 평가에서 제외된 지표가 있는 경우 가중치의 합이 1이 되도록 가중치를 조정할 수 있다.

1) 세부지표별 가중치

[표 2.81] 도로(터널)분야의 사용성능 평가지표에 대한 가중치

구분	포장상태	터널내 휘도	방재 시설	비상대피 시간	기계/전기 설비	통행량
가중치	0.182	0.139	0.187	0.184	0.144	0.164

[표 2.82] 사용성능 평가지표에 대한 가중치 조정방법(예)

구분	포장상태	터널내 휘도	방재 시설	비상대피 시간	기계/전기 설비	통행량
가중치	0.224	0.171	—	0.226	0.177	0.202

* 가중치 조정 예 : 방재시설에 대한 평가가 제외되는 경우, 방재시설에 해당하는 가중치 0.187을 원 가중치 비율을 고려하여 타 지표에 배분

2) 결과 산정 일반

(가) 평가항목별(지표별) 평가

○ 포장상태 평가

- 고속국도와 일반국도에 대해 각각 다른 평가기준을 적용한다.
- 고속국로와 일반국도에 대한 PMS의 정보를 활용하거나 실제 측정값을 적용하여 평가 등급을 산정한다.

○ 터널 내 휘도

- KS C 3793의 터널 조명 기준을 만족하는지 여부를 평가한다.
- 경계부 평균 휘도는 남향과 북향에 따라 다른 기준을 적용하고 기본부는 교통량에 따라 다른 기준을 적용한다. 경계부와 기본부를 각각 평가하여 낮은 등급을 적용한다.

○ 방재 시설

- 방재시설의 설치기준에 따른 각종 부대시설에 대하여 육안조사 및 간단한 작동시험을 실시하여 평가한다.
- 방재시설 설치 기준 부합여부 및 설비 작동상태를 평가한다.

○ 비상대피시간

- 피난연락갱의 간격을 대피시간을 기준으로 산정하여 평가기준을 설정한다.
- 설계도서를 확인하여 피난연락갱의 위치 및 간격을 확인하여 평가한다.

○ 기계/전기 설비

- 기계/전기설비의 구분에 따른 각종설비에 대하여 육안조사 및 작동시험을 통하여 평가한다.
- 구성 장치들의 등급을 먼저 결정하고 각 수변전설비, 예비전원설비, 감시제어설비, 환기 동력설비, 조명설비의 등급을 각각 구성장치들의 평균등급으로 산정하고, 이후 각 설비의 등급중 가장 낮은 등급을 기준으로 평가한다.

○ 교통량

- 수요 예측과 소요실제를 비교하여 평가한다.
- 수요 예측 결과 값에 따라 평가 등급이 달라질 수 있어 객관성 있는 자료 활용이 필요하다.

(나) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 사용성능 등급 산정

a등급은 5점, b등급은 4점, c등급은 3점, d등급은 2점, e등급은 1점으로 적용한다.

$$\text{사용성능평가} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i c_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

여기서, w = 세부지표의 가중치, n = 세부지표의 개수, c = 각 세부지표별 평가결과

마. 사용성능 평가결과 산정 예시

1) 평가항목별(지표별) 평가

○ 포장상태 평가

- 고속도로와 국도에 대한 PMS의 정보를 활용하거나 실제 측정값을 적용하여 평가 등급을 산정한다.
- 측정결과, NHPCI값이 5.6~6.2의 값으로 나타났으며, 최하값 5.6에 대한 평가 등급 적용 시 b등급으로 나타난다. (참조: 도로교량 결과산정 예)

○ 터널 내 휘도

- KS C3793의 터널 조명 기준을 만족하는지 여부를 평가한다.
- 경계부 평균 휘도는 남향과 북향에 따라 다른 기준을 적용하고 기본부는 교통량에 따라 다른 기준을 적용한다. 경계부와 기본부를 각각 평가하여 낮은 등급을 적용한다.
- 해당 터널의 기본정보와 평가 예는 아래와 같다.

[표 2.83] 터널 휘도 평가 예

설계속도	방향	교통량	측정값[cd/m ²]		최종등급
			경계부	기본부	
80km	남향	양방향 200대/시간/ 차로	300	6	b
			a	b	

○ 방재 시설

- 방재시설의 설치기준에 따른 각종 부대시설에 대하여 육안조사 및 간단한 작동시험을 실시한다.
- 해당 터널의 연장등급 및 방재등급에 따라 해당터널의 등급을 3등급으로 가정한다.

[표 2.84] 방재시설의 설치기준 평가 예

방재시설		설치유무 및 상태	설치유무	수리	교체
소화설비	소화기구		○		
경보설비	비상경보설비		○	V	
	비상방송설비		○		
	긴급전화		○		
	CCTV		○		
	영상유고감지설비		○		
	재방송설비				
피난대피설비	비상조명등		○	V	
	유도등		○		
	피난연결통로		○		
소화활동설비	무선통신보조설비		○		
	(비상)콘센트설비		○		
비상전원설비	무정전전원설비		○		
	비상발전설비		○		

- 해당 시설은 설치기준의 90% 이상 설치되어 있고(설치유무 b등급), 20% 미만의 수리가 필요(설치상태 c등급)하여 c등급으로 평가한다.

○ 비상대피시간

- 설계도서를 확인하여 피난연락갱의 위치 및 간격을 확인하여 평가한다.
- 해당 터널의 피난연락갱의 간격은 270m로 a등급으로 평가한다.

○ 기계/전기 설비

- 기계/전기설비의 구분에 따른 각종설비에 대하여 육안조사 및 작동시험을 통하여 평가한다.
- 각 구성요소의 등급을 평균시 최종평가결과 점수표를 활용하여 등급을 설정한다.

[표 2.85] 기계/전기설비의 평가 예

구분	구성	평가결과	등급점수	합계	설비등급
수변전설비	수전설비	b	4	3.5	b
	변전설비	c	3		
예비전원설비	비상발전기	a	5	4	b
	축전지설비	b	4		
	UPS (무정전전원)	c	3		
감시제어설비	자동제어설비	b	4	4.5	a
	현장기기	a	5		
환기동력설비	환기동력설비	b	4	4	b
조명설비	조명설비	c	3	3	c
최종등급	c				

○ 교통량

- 수요 예측과 소요실제를 비교하여 평가한다.
- 기존 타당성 조사 시 7,000/일의 수요예측을 확인하였고 수요실제가 6,000/일로 수요예측/수요실제의 비율이 100%이상으로 a등급으로 평가한다.

2) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 사용성 등급 산정

[표 2.86] OO터널 최종 사용성능 평가

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	가중치	평가결과	등급점수
사용성능	주행성	포장상태	0.182	b	4
		터널내 휘도	0.139	b	4
	방재성	방재시설	0.187	c	3
		비상대피시간	0.184	a	5
기능성	유지관리성	기계/전기설비	0.144	c	3
	수요 및 용량	교통량	0.164	a	5

- 위의 식대로 사용성능 점수를 산정해보면

$$4 \times 0.182(\text{포장상태}) + 4 \times 0.139(\text{터널휘도}) + 3 \times 0.187(\text{방재시설}) + 5 \times 0.184(\text{비상대피시간}) + 3 \times 0.144(\text{기계/전기설비}) + 5 \times 0.164(\text{교통량}) = 4.017$$
- 이를 최종 등급 산정 표에 적용시켜 보면 본 터널의 사용성능 등급은 B등급으로 평가된다.

2.6.3 철도터널 사용성능 평가항목 및 기준

가. 일반

철도터널의 세부지표는 성능평가의 정의에 따라 사용성과 기능성으로 구분하고 해당 시설물의 특징을 반영하여 필요 성능을 도출한다. 철도터널에서는 사용성능에 직접적인 영향을 미치는 시설물의 성능으로 사용자의 만족도 측면에서 주행성, 방재성과 시설물의 기능유지 측면에서 유지관리성, 수요 및 용량을 선정한다.

나. 세부지표의 평가범위

철도터널의 사용성능은 주행성, 장애성, 유지관리성, 수요 및 용량의 관점에서 세부지표를 도출하였다. 이중 터널 내 조도, 방재시설, 전력/통신/신호설비, 일통행 횟수는 a~e로 범위를 정하고 비상대피시간은 a, c, e로 범위를 정한다.

[표 2.87] 세부지표별 적용 범위

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	차등 적용 범위
사용성	주행성	터널 내 조도	a, b, c, d, e
	방재성	방재시설	a, b, c, d, e
		비상대피시간	a, b, c, d, e
기능성	유지관리성	전력/통신/신호설비	a, b, c, d, e
	수요 및 용량	일통행 횟수	a, b, c, d, e

철도터널의 사용성능 평가는 직접적인 수치로 계량할 수 있는 정량적 평가와 점검자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행한다.

다. 사용성능 평가 지표 및 기준

1) 주행성

(가) 터널 내 조도

[표 2.88] 터널 내 조도 성능평가기준

등급	등급기준
a	10lx 이상
b	6lx 이상 10lx 미만
c	4lx 이상 6lx 미만
d	2lx 이상 4lx 미만
e	2lx 미만

<해 설>

- 조명이 없는 철도터널의 경우 조도 측정을 하지 않는다.
- 조도 측정위치는 터널 횡단면 중앙부에서 수행한다.
- 갱구부 터널 내부로 40m 이상 진입 시 외부 태양광의 영향을 받지 않으므로 조도 측정 시 터널 내 50m 이상 진입 후 측정한다.

2) 방재성

(가) 방재시설

[표 2.89] 방재시설의 성능평가기준

등급	등급기준	
	설치 유무	설치상태
a	방재시설이 설치기준에 따라 설치되었을 때	방재시설이 구비 또는 교체후 5년 이내이며 모두 양호한 상태
b	방재시설이 설치기준의 90% 이상 설치되어 있을 때	방재시설이 구비 또는 교체후 5년 이상이며 모두 양호한 상태
c	방재시설이 설치기준의 80% 이상 설치되어 있을 때	설치된 방재시설이 20% 미만의 수리 및 10% 미만의 교체가 필요 할 때
d	방재시설이 설치기준의 70% 이상 설치되어 있을 때	설치된 방재시설이 40% 미만의 수리 및 20% 미만의 교체가 필요 할 때
e	방재시설이 설치기준의 70% 미만으로 설치되어 있을 때	설치된 방재시설이 40% 이상의 수리 및 20% 이상의 교체가 필요 할 때

<해 설>

- 방재시설은 아래표의 사전검지설비, 비상연락장구, 대피용시설, 구조용설비 및 장비를 포함하며 터널의 연장별 방재시설 기준을 얼마나 만족하고 있는냐에 따라 등급을 설정한다.
- 설치유무와 설치상태를 반영하여 더 낮은 등급을 평가 대상지표의 평가등급으로 산정한다.
- 점검 및 조사방법은 육안조사를 통하여 5등급으로 평가한다.

[표 2.90] 방재시설의 설치기준

항 목			적용 구간	설치기준
사고 예방	사전 검지 설비	안 전 스위치	모든 터널에서 적용	· 1.5km 선로간격 설치
	비상 연락 장구	비상연락 유선전화	모든 터널에서 적용	· 500m 선로간격 설치
		휴 대 폰 및 열차무선	모든 터널에서 적용	· 차량열차무선시스템 설치 (터널 내 무선중계기 설치) · 전구간 휴대전화 사용 가능 · 휴대전화용안테나등 설치
대피	기타 대피 용 시설	대피로	모든 터널에서 적용	· 전구간 터널내 70cm 이상의 대피공간 · 핸드레일 1.2m 높이로 설치
		본선과 대피통로 접속부	5km이상 터널에서 적용	· 방연문, 방연샷타, 제연커튼 등을 설치하여 연기확산 방지
		비상조명	모든 터널에서 적용	· 터널 내 20m 간격 · 등 밝기 10 Lux이상 조도유지
		유도등 유 도 표지판	모든 터널에서 적용	· 설치간격 : 양측 100m · 설치높이 : 1m이하 · 정전 시 20분 이상 전원공급 가능한 축전지 내장
		대피통로 출구문 개폐장치	5km이상 터널에서 적용	· 수직터널, 경사터널의 출구문에 개폐장치 설치
		피난계단	5km이상 터널에서 적용	· 계단 폭은 1.2m 이상 · 계단 난간 설치
구조	구조 용 설비	콘 센 트	모든 터널에서 적용	· 양측 250 m 이내 간격 설치
		비상연락유선전 화	모든 터널에서 적용	· 설치간격은 500 m 간격
		이 정 표 지 판	모든 터널에서 적용	· 1km이상 터널에 대하여 도로변 설치
	구조 용 장비	구조용 궤도차량	5km이상 터널에서 적용	· 5km 이상 터널 · 터널에서 35km 이내 범위 상시대기
		응급구조 수레	5km이상 터널에서 적용	· 5km 이상 터널 구조지휘 공간에 2개씩 배치

- 방재시설의 설치기준에 따른 각종 부대시설에 대하여 육안조사 및 간단한 작동시험을 실시하여 평가한다.
- 등급결정인자 : 방재시설 설치 기준 부합여부 및 설비 작동 상태정보 시설
- 70cm 대피공간은 레일 외측으로부터 측벽까지 1.78m이상을 확보한 공간을 말한다.

(나) 비상대피시간

[표 2.91] 비상대피시간의 성능평가기준

등급	터널 연장	대피통로 혹은 입출구부 설치간격
a	2.5km 이하	—
b	2.5km 초과	2.5km 이하
c	2.5km < 연장 ≤ 5.0km	2.5km 초과
d	5.0km 초과	2.5km < 연장 ≤ 5.0km
e	5.0km 초과	5.0km 초과

<해 설>

- 설계도서를 확인하여 대피통로 위치 및 간격을 확인하여 평가한다.
- 화재시 대피를 목적으로 방화문과 배연설비 시설을 갖춘 안전공간은 대피통로로 간주한다.

3) 유지관리성

(가) 전력/통신/신호설비

[표 2.92] 전력/통신/신호설비 성능평가기준

등급	등급기준
a	사용연수가 구비 또는 교체 후 3년 이내이며, 장치의 외관 및 작동에 불량인 양호한 상태
b	사용연수가 구비 또는 교체 후 3년 이상이며, 장치의 외관 및 작동에 불량인 건전한 상태
c	불량이 경미하여 작동에 영향이 없는 상태
d	상태 및 작동이 불량하여 수리가 필요한 상태
e	상태가 불량하여 설비의 작동이 불가능한 상태로 교체가 필요한 상태

<해 설>

- 전력/통신/신호설비는 설계도서에 명시된 전기 시설의 각 장치의 설치유무를 먼저 판단하고, 현재의 외관상태나 작동상태등을 점검한다. 장치별로 현재의 외관상태나 작동유무는 위의 표를 참조하여 결정한다.
- 터널 내 전기설비는 철도터널 전문시방서를 참조하여 전력설비, 정보·통신설비, 신호설비로 구분한다.
- 종합적인 전기설비의 상태는 다음의 프로세스로 판단한다. 먼저 구성 장치들의 등급을 위의 표를 통해 결정하고 각 전력설비, 정보통신설비, 신호설비의 등급을 각각 구성장치들의 평균등급으로 산정한다.
- 그 후 전력설비, 정보통신설비, 신호설비의 등급중 가장 낮은 등급을 기준으로 평가한다.

[표 2.93] 전기설비의 구분

구분	구성	내용
전력설비	조명설비	형광등기구, LED조명기구, 비상조명등, 각종 표시등 포함
	선로	가공선로, 지중선로, 케이블 등 포함
	변전설비	접지, 변압기, 차단기, 제어장치 등 포함
	전차선 시스템	급전선, 전차선, 조가선, 보호선, 가동브래킷 등 포함
정보통신설비	통신선로	통신케이블, 광전송망 설비 포함
	이동통신설비	케이블 안테나, 양방향 증폭기, 광보조중계기 등
	전화설비	연선전화기, 비상신고통화장치 포함
신호설비	신호기	상치신호기, 종속신호기, 신호부속기 등 포함
	각종 표지류	허용 및 절대정지표지, 번호표지판, 위치표지판, 안전스위치판 등

- 전기설비의 구분에 따른 각종 설비에 대하여 육안조사 및 간단한 작동시험을 실시하여 평가한다.
- 등급결정인자 : 설비 설치 유무, 설비 작동 상태

[표 2.94] 일반용 전기설비의 점검방법 및 기준 (「전기사업법」 시행규칙)

점검항목	점검방법 및 항목	점검기준
절연저항	주회로 및 분기회로 배선과 대지간의 절연저항 측정치	- 대지전압 150V 이하 : 0.1MΩ 이상 - 대지전압 150V 초과 300V 이하 : 0.2MΩ 이상 - 사용전압 300V 초과 400V 미만(비접지 계통) : 0.3MΩ 이상 - 사용전압 400V 이상 : 0.4MΩ 이상
인입구 배선	육안점검	- 규격전선의 사용 여부 - 전선 접속 상태 및 전선피복의 손상 여부 - 배선공사방법의 적합 여부
옥내배선	육안점검	- 규격전선의 사용 여부 - 전선피복의 손상 여부 - 배선공사방법의 적합 여부
누전차단기	육안점검	- 설치 및 작동 여부 - 열화 및 손상 여부
개폐기 (차단기)	육안점검	- 개폐기의 설치 여부 - 개폐기 설치 위치의 적합 여부 - 개폐기의 열화 및 손상 여부 - 정격퓨즈의 사용 여부 - 개폐기의 결선 상태 - 다선식 전로의 각 극 개폐장치 여부
접지저항	전기기계구 금속제 외함과 대지간의 접지저항 측정치	- 제3종 접지 : 100Ω 이하 - 특별 제3종 접지 : 10Ω 이하
그 밖의 항목	-	그 밖에 전기설비의 안전관리를 위하여 산업통상자원부장관이 정하는 사항

4) 수요 및 용량

(가) 교통량

[표 2.95] 교통량의 성능평가기준

등급	등급기준
a	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 100 이상일 때
b	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 90 이상 100미만일 때
c	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 80 이상 90미만일 때
d	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 70 이상 80미만일 때
e	$\left[\frac{\text{수요예측}}{\text{수요실제}} \times 100 \right]$ 이 70미만일 때

<해설>

- 철도터널의 수요 및 용량을 평가하기 위하여 가장 이용객의 입장에서 통행횟수가 적절하여 편리하게 이용 가능한 시설인가 혹은 통행횟수가 많아 불편한가를 평가한다. 이를 평가하기 위한 평가방법으로 해당시설물에 대한 사후평가서를 참고하여 수요예측값 대비 수요실제값의 비율을 분석하고 해당 등급에 따라 평가한다.
- 건설기술 진흥법 제52조에 따르면 건설공사준공 후 5년 이내에 300억원 이상의 공공건설 공사에 대해서는 사후평가서를 작성하고 건설사업정보화시스템(www.calspia.go.kr)의 건설공사사후평가에 입력하도록 되어 있으며, 사업효율성 분석을 위하여 수요예측과 수요실제 값을 입력하도록 되어 있다. 수요예측은 예비타당성조사 또는 타당성조사 당시의 수요 추정 값인 예측치이며, 수요실제는 시설물의 신설 이후 사후평가단계에서 실측된 수요를 나타낸다. 철도터널의 경우 수요예측값 및 수요실제값에 대한 단위는 인/일을 적용한다.
- 해당 건설공사에 대한 건설공사사후평가서가 없을 경우 일일 통행 횟수로 등급을 산정한다.
- 단 통행횟수는 일반철도 터널과 고속철도 터널을 구분하여 적용한다.

[표 2.96] 일 통행횟수 성능평가기준(고속철도)

등급	등급기준
a	일일 통행 횟수가 60회 이하일 때
b	일일 통행 횟수가 60회 초과 120회 이하일 때
c	일일 통행 횟수가 120회 초과 180회 이하일 때
d	일일 통행 횟수가 180회 초과 240회 이하일 때
e	일일 통행 횟수가 240회 초과일 때

<해설>

- 고속철도(KTX, SRT)의 철도노선(경부선, 경전선, 동해선, 호남선, 전라선) 모두를 분석하여, 철도노선별로 1일 통행량을 분석하여 설정한다.
- 한국철도공사의 여객열차 일 통행 횟수의 경우 코레일 홈페이지 → 사업분야 → 여객사업 → 열차운행현황에 의거하여 조사한다.
- SRT의 일통행횟수는 SRT홈페이지에서 확인 가능하다.
- 이를 구간별로 나누어 합산하면 아래와 같다.

[표 2.97] 구간별 일통행 횟수(고속철도)

구간	통행횟수
진주-마산	6
서울-인천공항	11
마산-동대구	14
포항-동대구	14
여수엑스포-익산	15
서울-행신	24
목포-광주송정	27
광주송정-익산	43
지체-수서	58
익산-서대전	63
서대전-오송	67
부산-동대구	101
용산-서울	104
동대구-대전	131
대전-오송	133
광명-용산	142
오송-천안아산	200
평균	68

- 최대 200 회를 기준으로 20% 여유를 두어 a, b, c, d의 등급을 정하고 현재 수준의 20% 이상일 때를 e등급으로 정한다.

[표 2.98] 일 통행횟수 성능평가기준(일반철도)

등급	등급기준
a	일일 통행 횟수가 25회 이하일 때
b	일일 통행 횟수가 25회 초과 50회 이하일 때
c	일일 통행 횟수가 50회 초과 75회 이하일 때
d	일일 통행 횟수가 75회 초과 100회 이하일 때
e	일일 통행 횟수가 100회 초과일 때

<해 설>

- 한국철도공사의 일반철도(경부, 장항, 호남, 전라 등) 전체 노선을 분석하여 일일 통행횟수를 산정한다.
- 노선별 일일 통행 횟수는 아래와 같다.

[표 2.99] 구간별 일통행 횟수(일반철도)

구간	통행횟수	구간	통행횟수	구간	통행횟수
태화강-경주	3	안동-영주	10	경주-영천	22
광주송정-서광주	3	동백산-정동진	11	부산-구포	28
영주-동백산	4	백마고지-동두천	11	서대전-천안	28
구포-영주	4	마산-동대구	13	익산-서대전	29
서광주-순천	4	익산-신창	14	구포-밀양	30
순천-전주	4	여수엑스포-익산	14	밀양-동대구	33
영천-안동	5	신해운대-태화강	15	동대구-대전	33
부전-구포	6	태화강-경주	15	대전-전의	33
동백산-제천	7	신창-천안	16	전의-천안	34
오송-대전	8	신해운대-부전	17	용산-서울	36
진주-마산	8	영천-동대구	17	영등포-용산	78
제천-오송	9	광주송정-익산	18	천안-영등포	80
영주-제천	9	제천-청량리	18	평균	19

- 최대 80회를 기준으로 20% 여유를 두어 a, b, c, d의 등급을 정하고 현재 수준의 20% 이상일 때를 e등급으로 정한다.

라. 사용성능 평가결과 산정 방법

각 세부지표의 사용성능평가 등급 산정은 단일 기준이 적용되는 경우와 복수의 기준이 적용되는 경우가 있다. 단일기준이 적용되는 경우는 해당 평가 등급을 활용하고 복수의 기준이 적용되는 경우는 복수의 평가결과 중 낮은 등급을 적용하여 해당 지표의 평가 등급을 결정한다.

해당 시설물의 최종 사용성능 등급 평가는 각 세부평가 지표별 평가 등급에 평가 가중치를 반영하여 등급을 산정한다.

또한 사용성능 평가 시 세부지표별 가중치를 적용하되, 평가에서 제외된 지표가 있는 경우 가중치의 합이 1이 되도록 가중치를 조정할 수 있다.

1) 세부지표별 가중치

[표 2.100] 철도터널분야의 사용성능 평가지표에 대한 가중치 산정

구분	터널 내 조도	방재시설	비상대피시간	전력/통신 /신호설비	통행량
가중치	0.141	0.228	0.245	0.208	0.178

[표 2.101] 철도터널분야의 사용성능 평가지표에 대한 가중치 산정

구분	터널 내 조도	방재시설	비상대피시간	전력/통신 /신호설비	통행량
가중치	0.187	0.302	—	0.275	0.236

* 가중치 조정 예 : 비상대피시간에 대한 평가가 제외되는 경우, 비상대피시간에 해당하는 가중치 0.245를 원 가중치 비율을 고려하여 타 지표에 배분한다.

2) 결과 산정 일반

(가) 평가항목별(지표별) 평가

○ 터널 내 조도

- 건설기준코드(구 철도설계기준) 및 관련 문헌 「철도 터널 조명 조도기준 재정립」을 참조하여 적용한다.
- 중앙부의 조도를 측정하여 등급평가 수행한다.

○ 방재 시설

- 방재시설의 설치기준에 따른 각종 부대시설에 대하여 육안조사 및 간단한 작동시험을 실시하여 평가한다.
- 방재시설 설치 기준 부합여부 및 설비 작동상태를 평가한다.

○ 비상대피시간

- 비상대피시간을 대피통로의 간격을 통해 평가기준을 설정한다.
- 설계 도서를 확인하여 대피통로의 위치 및 간격을 확인하여 평가한다.

○ 전력/통신/신호설비

- 전력/통신/신호설비의 구분에 따른 각종설비에 대하여 육안조사 및 작동시험을 통하여 평가한다.
- 구성 장치들의 등급을 먼저 결정하고 각 전력설비, 정보통신설비, 신호설비의 등급을 각각 구성장치들의 평균등급으로 산정하고, 이후 전력설비, 정보통신설비, 신호설비의 등급 중 가장 낮은 등급을 기준으로 평가한다.

○ 교통량

- 수요 예측과 소요실제를 비교하여 평가하거나 일일통행횟수로 평가한다.
- 수요 예측 결과 값에 따라 평가 등급이 달라질 수 있어 객관성 있는 자료 활용이 필요하다.
- 건설공사사후평가가서 없을 경우 일일 통행 횟수로 등급을 산정하여 적용한다.

(나) 세부지표별 가중치에 따라 시설물의 사용성능 등급 산정

a등급은 5점, b등급은 4점, c등급은 3점, d등급은 2점, e등급은 1점으로 적용한다.

$$\text{사용성능 평가} = \frac{\sum_{i=1}^n w^i c^i}{\sum_{i=1}^n w^i}$$

여기서, w = 세부지표의 가중치, n = 세부지표의 개수, c = 각 세부지표별 평가결과

3) 결과산정 예

- 도로터널의 결과 산정 예 참조

2.6.4 최종평가결과

최종평가결과는 아래 표를 활용하여 적용하며 터널의 경우 결합도 지수화 단계를 거쳐 종합 평가에 활용한다.

[표 2.102] 최종평가결과 점수

등급	설명	결과 점수
A	현재 수요 등을 만족하고 장래 수요 및 외부조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준	4.5 이상
B	현재 수요 등을 만족하나 장래 수요 및 외부조건 변화 등에 대한 관찰 및 주의가 필요한 성능 수준	3.5~4.5
C	장래 수요 및 외부조건 변화에 대해 기능발휘 또는 사용상 편의에 일부 문제점이 있어 일부 개선이 필요한 성능 수준	2.5~3.5
D	대부분의 기능이 요구되는 기능에 미치지 못하거나 운영 및 사용상 편의가 심각하게 우려되는 수준으로서 광범위한 부분에서 개선이 필요한 성능 수준	1.5~2.5
E	기능 발휘 또는 사용상 편의를 기대할 수 없어 개선 또는 개량이 필요한 성능 수준	1.5 미만

* 터널 구조물에 성능평가를 적용할 때, 안전성과 내구성능은 평가지수로 평가결과가 도출되기 때문에 사용성능평가 결과를 평가지수로 환산 할 필요가 있음

* 따라서 사용성능평가결과는 아래의 표와 같이 지수화 하여 종합성능평가 시 적용함

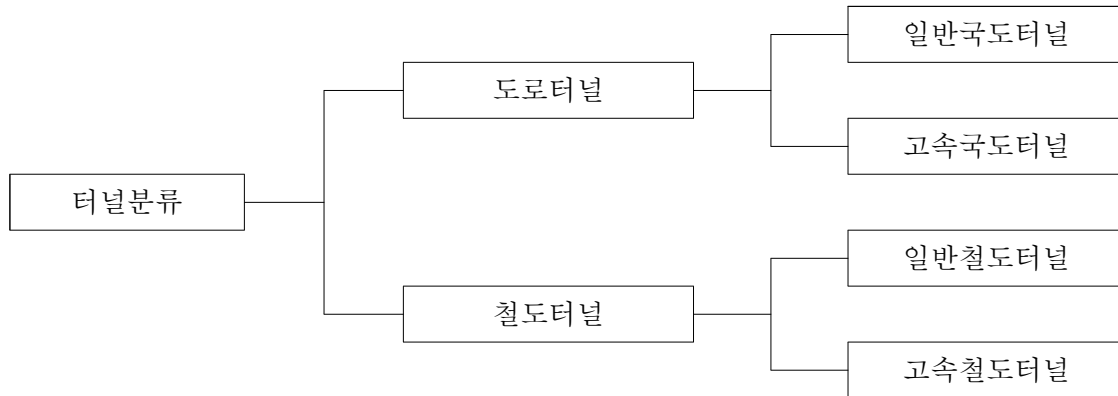
[표 2.103] 사용성능 결과점수의 평가지수(p_u)화

기준	A	B	C	D	E
사용성능 평가지수	0.08	0.23	0.43	0.65	0.88

2.7 종합평가기준 및 방법

2.7.1 종합평가 일반

시설물의 종합평가는 아래 그림과 같이 각 시설물의 용도를 고려하여 4가지 형식으로 구분하여 평가를 실시하며, 안전성능, 내구성능 및 사용성능평가결과를 종합적으로 고려하여 결정한다.



[그림 2.7] 종합평가 시 터널의 분류

2.7.2 종합평가결과산정방법

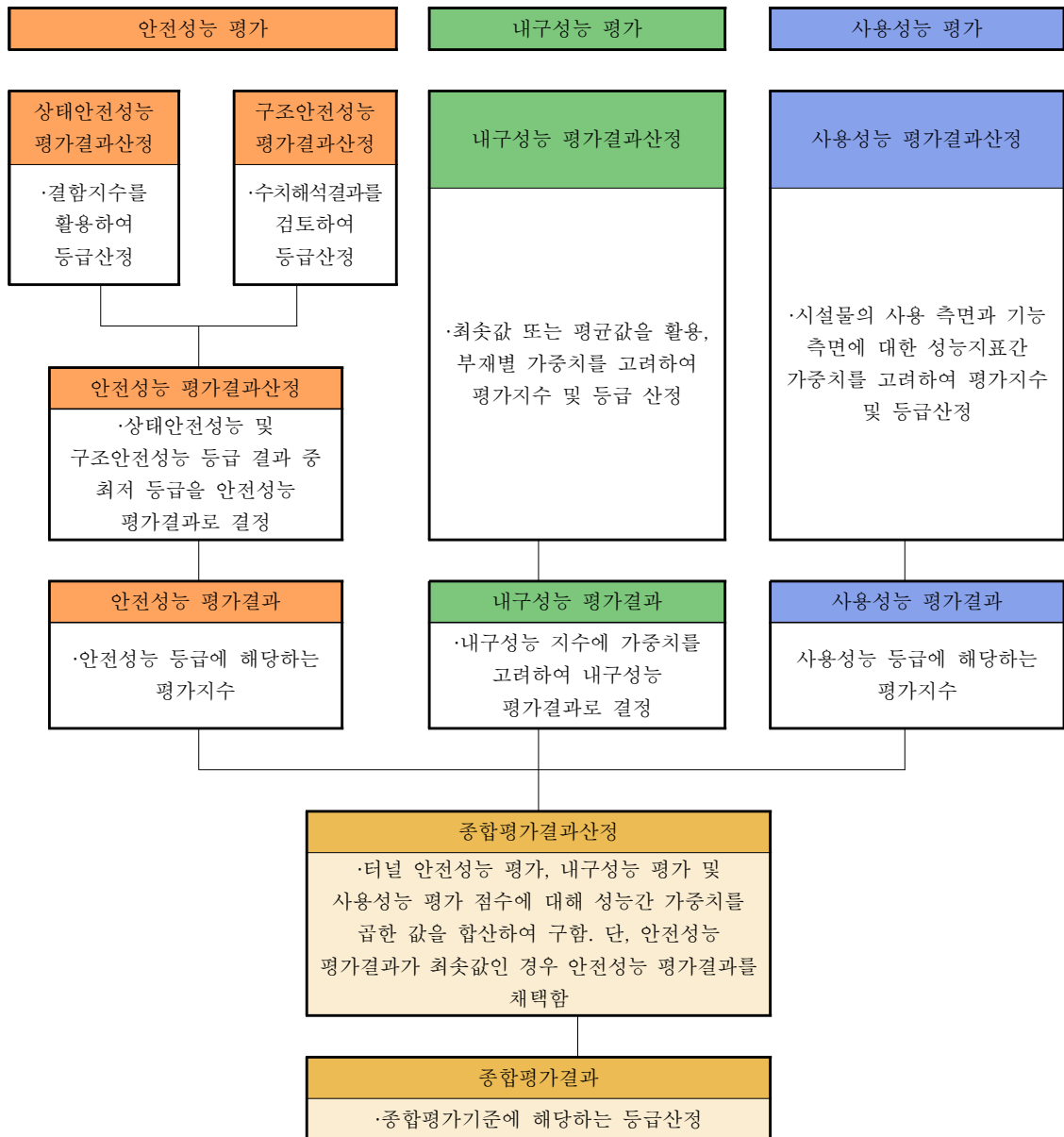
종합평가의 산정방법은 터널 안전성능 평가, 내구성능 평가 및 사용성능 평가지수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다. 단, 안전성능, 내구성능, 사용성능 등급을 비교하여 안전성능 등급이 가장 낮을 경우 구조물의 위험성을 고려하여 안전성능 등급이 종합성능등급으로 평가된다.

$$\text{터널의 종합성능평가지수}(P) = \sum(\text{성능평가지수}(p_n) \times \text{성능간 가중치}(w_n))$$

종합평가를 위한 성능항목 간 가중치는 사회기반시설 회계처리지침(기획재정부, 2011)에 따라 「도로법」에 의한 도로의 정의에 의해 일반국도, 고속국도 터널로 구분하며, 「철도산업발전기본법」에 의한 철도의 정의에 의해 일반철도, 고속철도 터널로 구분하여 평가한다. 단, 이외의 터널에 대해서는 시공방법 및 용도에 따라 유사한 터널의 종합평가 산정기준을 따른다.

[표 2.104] 터널의 종합평가 산정기준

구분		성능항목		
		안전성능	내구성능	사용성능
성능간 가중치(w_n)	일반국도터널	0.72	0.18	0.10
	고속국도터널	0.72	0.20	0.08
	일반철도터널	0.72	0.18	0.10
	고속철도터널	0.72	0.19	0.09



[그림 2.8] 터널의 종합평가결과산정절차

각 성능간 가중치를 고려하여 산정한 터널의 종합성능 평가지수에 따라 종합성능등급을 설정하면 아래 표와 같다.

[표 2.105] 터널의 종합평가결과산정 예

종합성능등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	$0.00 \leq P < 0.15$	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	$0.15 \leq P < 0.30$	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	$0.30 \leq P < 0.55$	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.55 \leq P < 0.75$	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$0.75 \leq P$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

터널의 종합평가결과를 취합정리하면 아래 표와 같다.

[표 2.106] 터널의 종합평가결과산정 예

시설물 종합평가결과산정 표					
시설물명	○○○ 터널			표번호	TS. NO.6
평가구분	평가지수	평가결과	성능간 가중치(W_n)	비 고	
안전성능 평가	$p_s=0.25$	B	0.72	근거 표번호	
내구성능 평가	$p_d=0.31$	C	0.18	근거 표번호	
사용성능 평가	$p_u=0.23$	B	0.10	근거 표번호	
종합성능 평가 결과	○ 터널의 종합 성능평가지수(P) $= \sum \text{평가지수}(p_n) \times \text{성능간 가중치}(W_n)$ $= 0.25 \times 0.72 + 0.31 \times 0.18 + 0.23 \times 0.10 = 0.259$ ○ 터널의 종합 성능평가지수(P) : 0.259 ○ 터널의 종합평가결과 : B				