

제 4 장 시설물의 안전성능 평가

4.1 상태안전성능 평가

4.2 구조안전성능 평가

4.3 안전성능 평가결과

4.1 상태안전성능 평가

4.1.1 개 요

상태안전성능평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 「세부지침」의 상태안전성능평가 기준에 따라 실시한다.

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

본 장은 정량적이고 객관적인 상태안전성능평가를 위하여 시설물에 대한 외관조사 점검결과를 토대로 각 항목에 대한 상태안전성능 평가를 실시하며, 시설물의 평가체계에 따라 평가결과를 산정하는 절차를 정리·예시하였다.

4.1.2 상태안전성능 평가 기준 및 방법

가. 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.

나. 평가범위

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.

다. 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 4.1.1] 터널의 상태안전성능 평가 시 성능지표

구분		성능지표	비고
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.

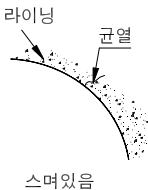
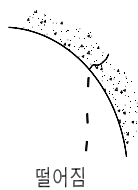
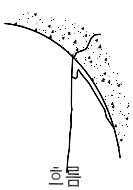
현장 조사 시 각각의 평가항목에 대한 상태안전성능 평가는 가장 취약한 것을 기준으로 하여 결정하도록 하며, 책임 기술자는 현장 상태를 기준으로 상태안전성능을 판단하고 하향 조정하여 평가할 수 있다.

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.

라. 항목별 세부기준

상태안전성능 평가 주요 항목에 대한 세부기준은 다음 표와 같다. 평가항목에 대한 상태안전성능 평가는 가장 대표적인 것을 기준으로 하여 결정하며, 여러 개소에 나타날 경우에는 등급을 하향 조정한다.

[표 4.1.2] 터널 라이닝 및 개착터널 BOX의 항목별 상대안전성능 평가 세부기준①

평가기준		a	b	c	d	e
종 류						
※ 균열						
콘크리트 라이닝	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	BOX	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 2~5개소	벽돌 5개소 이상
 (종균열)  (횡균열)  (경사균열)  (망상균열)						
※ 누수						
누수	없음	 스며있음	 떨어짐	 흐름	 분출	
※ 파손 및 손상						
콘크리트 라이닝	손상도	없 음	1/6 미만	1/6 이상 1/3 미만	1/3 이상 1/2 미만	1/2 이상
조적식 라이닝	손상두께	없 음	벽돌부분 손상	벽돌 1개 이하	벽돌 1~2 개	벽돌 2개 이상
※ 재질열화						
박 리	없 음	6.0mm 미만	6.0mm이상 25mm미만	25mm이상 이거나 조골재 손실	박리가 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태	
재료분리	없 음	면적을 5% 미만	면적을 5~10%	면적을 10~20%	면적을 20% 이상	
층 분 리 및 박 락	없 음	깊이 12mm미만 또는 직경75mm 미만	깊이 12~25mm미만 또는 직경75~150mm 미만	깊이 25mm이상 또는 직경150mm이상	박락이 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태	
철근노출	없 음	면적을 1% 미만	면적을 1~3%미만	면적을 3~5%미만	면적을 5%이상	
줄눈부 열화	없 음	아주 경미하게 열화된 상태	벽돌 2개 규모 이상의 재질열화	벽돌 2~5개 정도의 재질열화	벽돌 5개 이상 규모의 재질열화	

[표 4.1.2] 터널 라이닝 및 개착터널 BOX의 항목별 상대안전성능 평가 세부기준②

평가기준 종 류	a	b	c	d	e
※ 내공단면 변형여부					
내공변위	없음	1mm/년 미만	1~3mm/년	3~10mm/년	10mm/년 이상
※ 배면 공동 유무					
배면 공동 유무	발견된 공동이 없는 경우	배면공동이 존재하나 라이닝에 변형을 유발하지 않은 경우	배면공동으로 인하여 라이닝에 이차적인 변형이 발생한 경우		
※ 배수상태					
배수상태	배수에 문제가 없는 경우	오염됨		배수불량 및 막힘 (배수시설 작동불량)	
※ 지반상태					
지반상태	지반상태에 문제가 없는 경우	풍화변질	단 층 파 쇄 대		
			영향범위 외	영향범위 내	
				중·소규모 단층	대규모 단층
※ 공동구 상태					
공동구 상태	공동구에 문제가 없는 경우	보통인 상태		불량한 상태	
		덮개파손 및 오염됨	이물질 퇴적 및 침수		
※ 특수조건(도심지 터널)					
특수조건	특수조건에 해당하지 않는 경우	도심지 토사터널			
		주의범위 (1D~2D)	주의범위 (1D미만)	-	-
		○ 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).			

마. 터널별 결함지수 산정기준

본 시설물은 도로터널-NATM(무근, 철근)으로 시공되어 개착 및 NATM 터널에 대한 결함지수 산정기준을 적용하였으며, 산정기준은 다음 표와 같다.

[표 4.1.3] 개착터널 결함지수 산정

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	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
기본시설 결함지수 (f) = $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치(w)}}$							

[표 4.1.4] NATM터널(무근) 결함지수 산정

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
기본시설 결함지수 (f) = $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치}(w)}$							

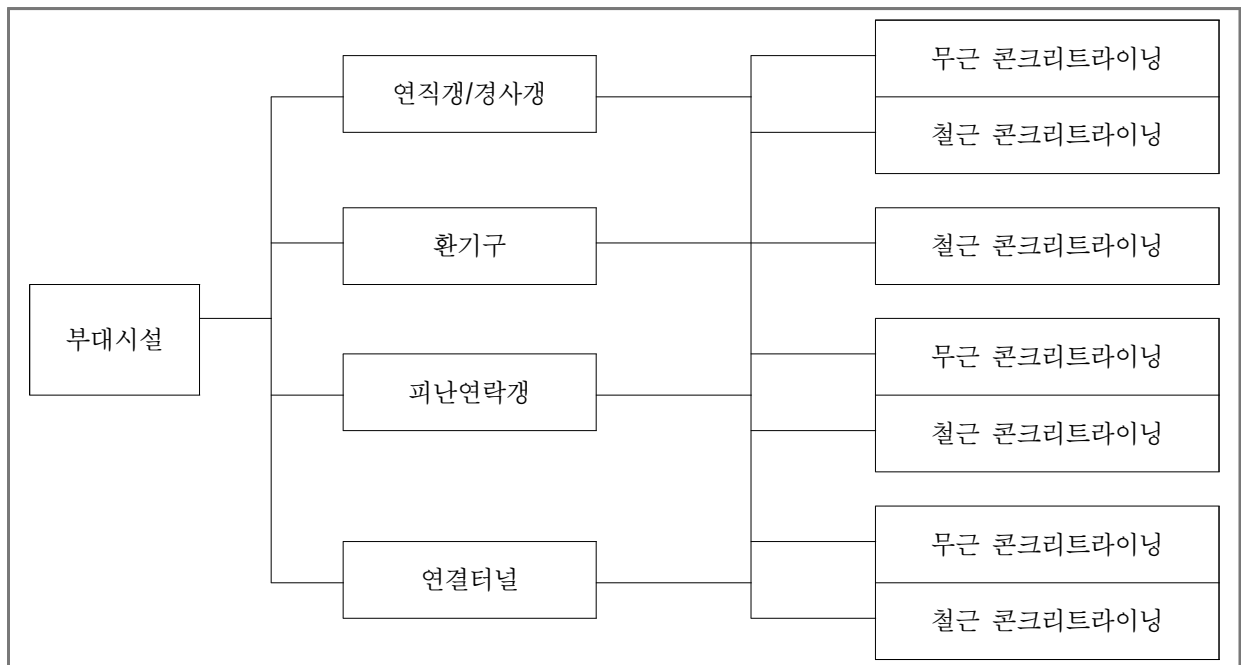
[표 4.1.5] NATM터널(철근) 결함지수 산정

평가기준		a	b	c	d	e	가중치 (w)
		$0 \leq f < 0.15$	$0.15 \leq f < 0.30$	$0.30 \leq f < 0.55$	$0.55 \leq f < 0.75$	$0.75 \leq f$	
라이닝	균열	0	4	7	11	16	16
	누수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	박리	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
터널 주변	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
기본시설 결함지수 (f) = $\frac{\sum \text{평가점수}}{\sum \text{가중치}(w)}$							

바. 부대시설 결함지수 산정기준

1) 터널 부대시설 분류

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



2) 부대시설 상태안전성능평가 성능지표

터널 부대시설은 기본시설의 성능지표(터널주변 성능지표 제외)를 준용하여 평가한다.

3) 부대시설 가중치

부대시설 평가결과를 기본시설을 포함한 전체시설물의 상태안전성능 평가 결과에 반영하기 위한 방법으로 아래 표와 같이 기본시설과 별도로 부대시설 결합점수에 따른 가중치(W)를 정하였으며, 부대시설 평가기준은 기존의 산정 개념과 유사하게 보수적인 관점에서 하위상태에 비중을 두어 산정한다.

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

$$\text{전체시설물의 결합지수(F)} = \text{기본시설 결합지수(f)} \times \text{부대시설 가중치(W)}$$

[표 4.1.6] 부대시설의 가중치

가중치(W)	1.0	1.00	1.02	1.05	1.10
부대시설 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 최상의 상태	기능수행에 영향이 없으나 일부 보수가 필요한 상태	부재의 손상이 있으나 기본 시 설 기능 수행에 문제가 없는 상태	부재의 손상이 중대하여 기본시설에 영향 을 주는 상태	기본시설의 기능수행에 문제 를 일으켜 즉각적인 조치가 필요한 상태

4) 부대시설 결합지수 산정기준

터널 부대시설 구조물 분류에 따른 상태안전성능 평가를 위한 결합점수와 결합지수 산출 방법은 기본시설기준(터널주변점수 제외)을 준용한다.

4.1.3 상태안전성능 평가결과

가. 기본시설물 상태안전성능 평가 결과

1) 제1단계 : 라이닝 상태안전성능 평가

(1) 개착구간

Span No.	라 이 닝							결함점수 합 계	라이닝 결함 지수 (f)
	균 열	누 수	파손 및 손상	박 리	충분리, 박락	재료 분리	철근 노출		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
산 술 평 균	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

(2) 철근콘크리트

Span No.	라 이 닝							결함점수 합 계	라이닝 결함 지수 (f)
	균 열	누 수	파손 및 손상	박 리	충분리, 박락	재료 분리	철근 노출		
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
산 술 평 균	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

(3) 무근콘크리트

Span No.	라 이 닝							결함점수 합 계	라이닝 결함 지수 (f)
	균 열	누 수	파손 및 손상	박 리	충분리, 박락	재료분리			
5	0	0	0	0	0	0		0.0	0.000
6	0	0	0	0	0	0		0.0	0.000
7	0	0	0	0	0	0		0.0	0.000
8	0	0	0	0	0	0		0.0	0.000
9	0	0	0	0	0	0		0.0	0.000
10	0	0	0	0	0	0		0.0	0.000
11	0	0	0	0	0	0		0.0	0.000
12	0	0	0	0	0	0		0.0	0.000

Span No.	라 이 닝						결함점수 합 계	라이닝 결함 지수 (f)
	균 열	누 수	파손 및 손상	박 리	충분리, 박락	재료분리		
13	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
14	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
15	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
16	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
17	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
18	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
19	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
20	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
21	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
22	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
23	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
24	4	0	0	0	0	0	4.0	0.080
25	4	0	0	0	0	0	4.0	0.080
26	0	0	0	0	2	0	2.0	0.040
27	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
28	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
29	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
30	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
31	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
32	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
33	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
34	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
35	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
36	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
37	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
38	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
39	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
40	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
41	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
42	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
43	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
44	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
45	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
46	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
47	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
48	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
49	0	0	0	2	0	0	2.0	0.040
50	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
51	0	0	0	0	0	0	0.0	0.000
산 술 평 균	0.17	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.26	0.005

2) 제2단계 : 터널 주변 상태 결함점수 산정

(1) 개착구간

Span No.	라이닝 내공단면 변형여부	배수상태	공동구상태	지반상태	배면공동 유무	특수조건	결함점수 합계
1	0	2	1	0	0	0	1
2	0	2	1	0	0	0	1
3	0	2	1	0	0	0	1
4	0	2	1	0	0	0	1
54	0	2	1	0	0	0	1
산술평균	0.00	2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00

(2) 철근콘크리트

Span No.	라이닝 내공단면 변형여부	배수상태	공동구상태	지반상태	배면공동 유무	특수조건	결함점수 합계
52	0	1	1	0	0	0	1
53	0	3	1	0	0	0	1
산술평균	0.00	2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00

(3) 무근콘크리트

Span No.	라이닝 내공단면 변형여부	배수상태	공동구상태	지반상태	배면공동 유무	특수조건	결함점수 합계
5	0	2	0	0	0	0	0.0
6	0	2	0	0	0	0	0.0
7	0	2	0	0	0	0	0.0
8	0	2	1	0	0	0	1.0
9	0	2	1	0	0	0	1.0
10	0	2	0	0	0	0	0.0
11	0	2	0	0	0	0	0.0
12	0	2	0	0	0	0	0.0

Span No.	라이닝 내공단면 변형여부	배수상태	공동구상태	지반상태	배면공동 유무	특수조건	결합점수 합계
13	0	2	0	0	0	0	0.0
14	0	2	0	0	0	0	0.0
15	0	2	0	0	0	0	0.0
16	0	2	0	0	0	0	0.0
17	0	2	0	0	0	0	0.0
18	0	2	0	0	0	0	0.0
19	0	2	1	0	0	0	1.0
20	0	2	0	0	0	0	0.0
21	0	2	0	0	0	0	0.0
22	0	2	0	0	0	0	0.0
23	0	2	0	0	0	0	0.0
24	0	2	1	0	0	0	1.0
25	0	2	0	0	0	0	0.0
26	0	2	0	0	0	0	0.0
27	0	2	0	0	0	0	0.0
28	0	2	0	0	0	0	0.0
29	0	2	0	0	0	0	0.0
30	0	2	0	0	0	0	0.0
31	0	2	0	0	0	0	0.0
32	0	2	1	0	0	0	1.0
33	0	2	0	0	0	0	0.0
34	0	2	0	0	0	0	0.0
35	0	2	0	0	0	0	0.0
36	0	2	0	0	2	0	2.0
37	0	2	0	0	0	0	0.0
38	0	2	0	0	0	0	0.0
39	0	2	0	0	0	0	0.0
40	0	2	0	0	0	0	0.0
41	0	2	0	0	0	0	0.0
42	0	2	0	0	0	0	0.0
43	0	2	1	0	0	0	1.0
44	0	2	0	0	0	0	0.0
45	0	2	1	0	0	0	1.0
46	0	2	1	0	0	0	1.0
47	0	2	1	0	0	0	1.0
48	0	2	1	0	0	0	1.0
49	0	2	1	0	0	0	1.0
50	0	2	0	0	0	0	0.0
51	0	2	1	0	0	0	1.0
산술평균	0.00	2.00	0.26	0.00	0.04	0.00	0.30

3) 제3단계 : 기본시설물 상태안전성능 평가 등급 산정

(1) 개착구간

형식	라 이 닝							터 널 주 변						합계
	균열	누수	파손 및 손상	박리	충분리 박락	재료 분리	철근 노출	내공 단면	배수 상태	공동 구상 태	지반 상태	배면 공동	특수 조건	
개착	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	3.00
결합지수(F)=결합점수 합계 / 100														0.030
터널상태평가 결과														A

(2) 철근콘크리트

형식	라 이 닝							터 널 주 변						합계
	균열	누수	파손 및 손상	박리	충분리 박락	재료 분리	철근 노출	내공 단면	배수 상태	공동 구상 태	지반 상태	배면 공동	특수 조건	
NATM (철근)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	3.00
결합지수(F)=결합점수 합계 / 100														0.030
터널상태평가 결과														A

(3) 무근콘크리트

형식	라 이 닝						터 널 주 변						합계
	균열	누수	파손 및 손상	박리	충분리 박락	재료 분리	내공 단면	배수 상태	공동 구상 태	지반 상태	배면 공동	특수 조건	
NATM (무근)	0.170	0.000	0.000	0.040	0.040	0.000	0.00	2.00	0.26	0.00	0.04	0.00	2.55
결합지수(F)=결합점수 합계 / 100													0.026
터널상태평가 결과													A

4) 기본시설물 상태안전성능 평가 결과

구분	결합지수(a)	평가등급(b)	연장(m)	연장비	결합지수 × 연장비
개착구간	0.030	a	35.0	0.074	0.002
철근구간	0.030	a	18.2	0.038	0.001
무근구간	0.026	a	420.8	0.888	0.023
기본시설 결합지수					0.026
상태안전성능 평가 등급					A

나. 부대시설물 상태안전성능 평가 결과

본 시설물은 부대시설(연직갱, 환기구, 피난연락갱, 연결터널 등)이 없으므로 부대시설의 결합지수 산정은 생략하였다.

다. 전체시설물의 상태안전성능 등급 산정

오천터널(상행선)의 전체시설물의 상태안전성능 등급은 A등급($F=0.026$)으로 평가되었다.

오천터널(상행선)	기본시설 결합지수(F)	부대시설 가중치(W)	결합지수(F)	상태안전성능 등급
	0.026	-	0.026	A

4.2 구조안전성능 평가

4.2.1 개 요

구조안전성능 항목별 평가방법은 정량적으로 평가하기 어렵거나 또한 다양한 경우가 대부분이므로 상호의 평가결과를 비교하는 것이 필수적이다.

본 장에 기술되지 않은 평가항목으로서 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우에는 구조안전성능 기준을 제시하고 의견서를 첨부하여 시설물의 평가에 반영할 수 있다. 또한, 시설물의 특성 및 제반 여건 등을 고려하여 적절히 응용할 수 있다.

4.2.2 구조 안전 성능 평가 기준 및 방법

가. 일반

터널의 구조안전성능 평가는 외관조사 및 비파괴 현장시험에 의한 터널 부재별 상태안전성능 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.

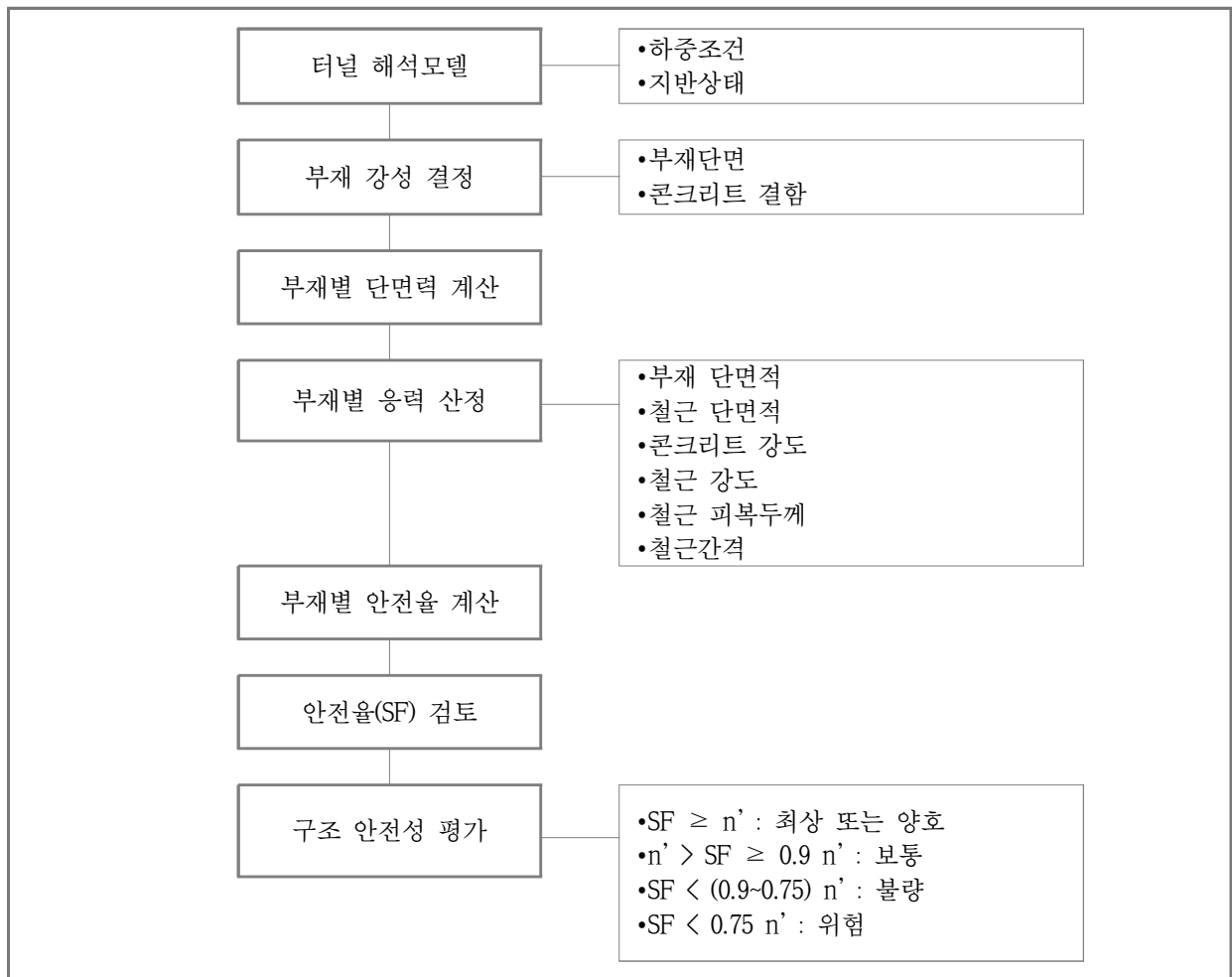
[표 4.2.1] 터널의 구조안전성능 평가 시 성능지표

구 분		성능지표	비 고
구조안전성능	상시	- 안전율 - 변위 - 응력	
	지진시	- 안전율 - 변위 - 응력	

나. 구조안전성능 평가방법

터널의 구조안전성능 평가방법은 일반적으로 주변지반의 응력상태를 고려한 해석적방법에 의해 이루어진다. 해석적 방법에 의해 구조물의 안전성을 평가하는 경우 현장조사 및 수집 자료에 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 구조해석 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 4.2.1] 구조안전성능 평가결과 산정방법

다. 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 상태평가 결과가 불량하게 나타나 현장조사 시 문제점이 발생한 부위를 대상으로 안전율(Safety Factor, SF) 검토를 수행하여 구조물의 안전성을 판단하는 것이 필요하다.

국내에서 구조물의 안전성평가는 평가대상 항목의 안전율을 이용하여 수행하고 있으며, 안전율 검토는 허용응력설계법(부재의 발생응력과 허용응력의 비)이나 강도설계법(부재의 소요강도와 설계강도의 비)에 따라 구조물의 각 부재에 작용하는 외력에 의한 응력을 산정하여 이루어지고 있다. 일반적으로 터널은 지반과의 상호작용을 바탕으로 구조적 거동이 이루어지므로 구조해석에 필요한 경계조건, 지반상수 등은 설계·준공도서 또는 지반조사에 의해 얻거나 구조물의 설계기준 등에 나와 있는 값을 참고로 하여 구한다.

상기와 같은 내용을 근간으로 검토한 휨, 전단, 압축 등의 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 4.2.2] 터널의 구조안전성능 평가 시 성능지표

평가등급	내 용	결함지수
A	안전율(SF)이 1.0 이상이고 주부재에 손상이 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 ~ 0.9 이상	0.54
D	안전율(SF)이 0.9 미만 ~ 0.75 이상	0.74
E	안전율(SF)이 0.75 미만	0.99

라. 구조안전성능 결과산정 방법

1) 구조안전성능 결과산정

① 개착터널(Cut and Cover : BOX, 지하차도)

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

일반적으로 설계개념의 안전율을 도입하는 개착터널(Cut and Cover), Shield 터널 등은 안전율 산정이 가능하므로, 다음과 같은 방법으로 안전성평가 결과를 산정한다.

㉠ 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

㉞ 안전율 SF=1보다 작은 경우 : C, D, E등급으로 평가

- C : $0.90 \leq SF < 1.0$
- D : $0.75 \leq SF < 0.90$
- E : $SF < 0.75$

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

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

② 굴착터널(Mined Tunnel : 채래식, NATM 터널)

굴착터널에 대한 안전성 평가는 설계개념의 안전율을 도입했을 경우에는 안전율 산정이 가능하므로, 상기의 “개착터널”과 같은 방법으로 안전성평가 결과를 산정한다. 그러나 설계개념의 안전율을 도입하지 않은 경우에는 터널 상태평가지 지반상태와 라이닝 변상 등을 기 반영하였고, 안전성평가를 정량화하여 A, B, C, D, E로 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 포함 여부, 해석방법 등에 따라 안전성평가 결과가 좌우된다.

- 산악터널과 도심지 터널 주변 지반조사의 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·보강범위를 산정하고 있으므로 안전성평가를 정량화하여 A, B, C, D, E로 분류하기가 곤란하여 반영하지 않고 안전, 불안전 여부만을 평가할 수 있다.

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

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

2) 안전성평가 결과 산정방법

① 안전율을 도입한 경우의 방법

개착터널(Cut and Cover)과 굴착터널(Mined Tunnel) 중 설계당시 안전율을 도입한 경우에는 구조안전성능평가 결과 산정방법을 다음과 같이 예시하였다.

[표 4.2.3] 안전성평가 결과 산정[개착터널] 예시

시설물구조안전성능평가 결과 산정표			
시설물명	○○○ 터널		표번호 TS. NO.3
부재 구분	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
구조안전성능평가 결과	•최저 안전안전성능 평가 결과 = C, 결함지수 = 0.54		

② 안전율을 도입하지 않은 경우의 방법

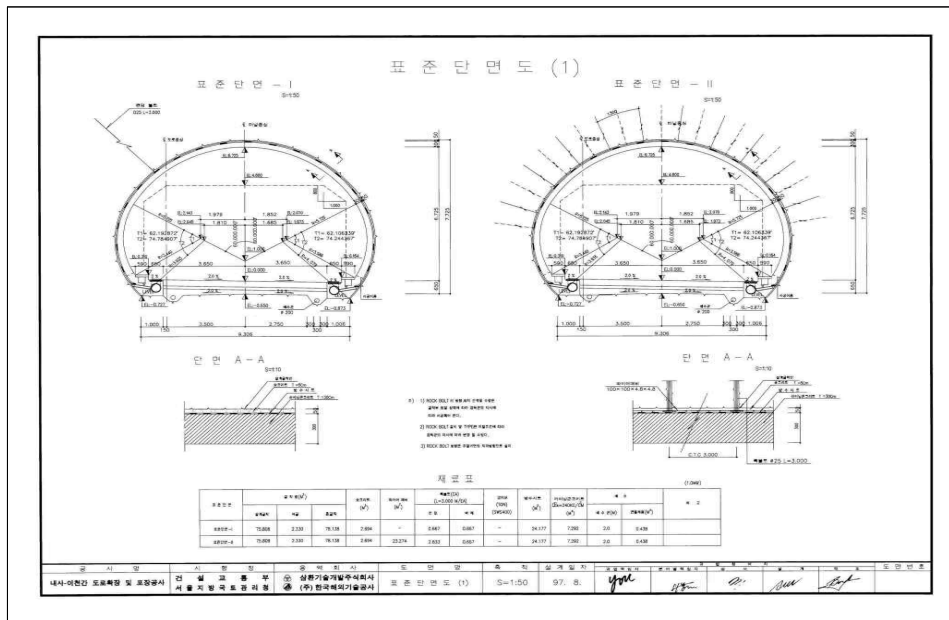
안전율을 도입하지 않은 경우 수치해석에 의한 구조안전성능평가 방법은 다음과 같다.

[표 4.2.4] 안전성평가 결과 산정[NATM터널] 예시

시설물 구조안전성능평가결과과 산정표			
시설물명	○○○ 터널	표번호	TS. NO.5
부재 구분	변위 또는 응력	안전성 여부 (안전, 불안전)	비 고
•변위발생 경향	(단위 : mm)		- 정성적 표현
- 천단변위	0.78	안전	
- 내공변위	2.89	안전	
•응력발생 경향	(단위 : MPa)		- 정성적 표현
- 휨압축응력	12.00MPa	안전	
- 전단응력	5.19MPa	안전	
구조안전성능평가 결과	•구조안전성능평가결과 : 안전 ※ 일반터널(Mined Tunnel)에서 안전성평가를 정량적으로 표시할 수 없는 경우는 정성적으로 표시함.		

4.2.3 구조안전성능 평가

오천터널(상행선)에 대한 구조안전성능 평가는, 금회 실시한 정밀안전점검에서 외관조사 및 내구성조사 결과를 분석한 결과, 시설물의 안전성 및 구조적으로 문제가 될 만한 문제점이 발생되지 않은 상태이다. 따라서 금회 성능평가지 구조안전성능평가를 위한 별도의 구조해석을 실시하지 않고, 관리주체에서 제공한 준공도서(구조계산서 및 터널해석보고서)에 대한 자료를 활용하여 구조안전성능평가를 실시하는 것으로 협의하였으며 상세한 자료는 부록에 첨부하였다.



[표 4.2.2] 오천터널(상행선) 표준단면도

가. 안전성 검토 결과

[표 4.2.5] 오천터널(상행선) 안전성능평가 결과

부재구분	모멘트 검토			전단력 검토			평가결과
	Mu	ϕMn	안전율	Vu	ϕMn	안전율	
아치부	5.589	73.012	13.063	8.314	20.116	2.419	a
벽체부	41.888	133.081	3.177	22.277	35.922	1.612	a

시설물 구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		오천터널(상행선)		비고
부재구분		안전율(SF)	평가결과	
휨모멘트	아치부	13.063	a	
	벽체부	3.177	a	
전단력	아치부	2.419	a	
	벽체부	1.612	a	
구조안전성능평가 결과		최저 안전성능평가 결과=A, 결함지수=0.14		

나. 안전성평가 결과 요약

■ 터널에 대한 안전성 검토 결과, 모든 검토 대상에서 최소안전율이 1.0 이상으로 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가됨

4.3 안전성능 평가결과

4.3.1 개 요

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.

단, 구조안전성능 평가를 실시하지 않은 경우는 상태안전성능 평가 등급을 최종 안전성능 평가 등급으로 같음한다.

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

여기서, G_c : 터널의 상태안전성능 등급

G_s : 터널의 구조안전성능 등급

[표 4.3.1] 안전성능 등급

등급	안전성능 수준	비고
A (우수)	•외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능수준	
B (양호)	•일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수여부를 결정해야 하는 성능 수준	
C (보통)	•광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단히 보수 또는보강이 필요한 성능 수준	
D (미흡)	•심각한 결함에 대한 보수·보강이 필요함 사용제한 여부를 결정해야하는 성능 수준	
E (불량)	•심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축이 필요한 수준	

오천터널(상행선)의 상태안전성능 및 구조안전성능에 의한 안전성능평가 결과, “외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능수준”인 「A등급(우수)」으로 평가되었다.

4.3.2 안전성능 평가결과

[표 4.3.2] 오천터널(상행선) 안전성능 평가 결과

구분	상태안전성능 평가		구조안전성능 평가		비고
	평가지수	평가등급	평가지수	평가등급	
오천터널(상행선)	0.026	A	0.14	A	
안전성능 평가결과	안전성능 평가지수는 0.14 로 평가 되었으며, 안전성능 평가등급은 A등급 으로 산정되었다.				

