

제4장 시설물의 안전성능 평가

4.1 상태안전성능 평가

4.2 구조안전성능 평가

4.3 안전성능평가 결과

제4장 시설물의 안전성능 평가

4.1 상태안전성능 평가

4.1.1 개요

상태안전성능 평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태 변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 시설물편의 상태평가 기준에 따라 실시하였다.

본 시설물의 상태안전성능 평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 조사된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 “시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 (성능평가편), 2018.06, 한국시설안전공단”의 상태안전성능평가 기준에 따라 실시하였다.

4.1.2 상태안전성능 평가 항목

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

4.1.3 상태안전성능 평가 기준 및 방법

가. 부재별 상태평가 적용범위

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

〈표 4.1〉 부재별 상태안전성능 평가 적용 범위

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

나. 터널별 결함지수 산정기준

터널별 결함지수 산정기준은 다음과 같다.

〈표 4.2〉 NATM터널(무근콘크리트 라이닝) 산정기준

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	균열	0	4	7	11	16	16
	누수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	재질 열화	박리	1	2	3	4	4
		층분리 및 박락	1	2	3	5	5
		재료분리	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

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

〈표 4.3〉 NATM터널(철근콘크리트 라이닝)의 산정기준

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	균열	0	4	7	11	16	16
	누수	0	3	6	9	13	13
	파손 및 손상	0	2	4	6	9	9
	재질 열화	박리	1	2	3		3
		층분리 및 박락	1	2	3	5	5
		재료분리	1	3	3		3
		철근노출	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

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

4.1.4 상태안전성능 평가 결과

본 터널의 상태안전성능 평가는 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(성능평가편, 2018. 06, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 의거하여 실시하였으며, 육안조사에 의한 외관 조사에 따른 상태안전성능 평가를 실시하였다.

1) 해운대터널(부산)

가. 라이닝 결함지수 및 상태평가 결과

〈표 4.4〉 무근콘크리트 라이닝 결함지수 및 상태평가 결과

No	Span No	균열	누수	파손 및 손상	재질열화				결함 점수 합계	라이닝 결함지수 (f)
					박리	충분리 박락	백태	재료 분리		
1	4 SPAN	9/a	0/a	0/a	0/a	0/c	1/a	0/a	0	1/a
2	5 SPAN	9/b	4/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	4/b
3	6 SPAN	9/b	5/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	5/b
4	7 SPAN	9/b	4/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	4/b
5	8 SPAN	9/b	4/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	4/b
6	9 SPAN	9/b	4/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	4/b
7	10 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
8	11 SPAN	9/b	4/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	4/b
9	12 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
10	13 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
11	14 SPAN	9/d	9/a	0/a	0/b	0/a	0/a	0/a	0	9/c
12	15 SPAN	9/b	4/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	4/b
13	16 SPAN	9/b	3/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	3/a
14	17 SPAN	9/c	8/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	8/c
15	18 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
16	19 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
17	20 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
18	21 SPAN	9/b	4/a	0/a	0/a	0/c	1/a	0/a	0	5/b
19	22 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
20	23 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
21	24 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/c	1/a	0/a	0	7/b
22	25 SPAN	9/b	4/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	4/b
23	26 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
24	27 SPAN	9/c	7/a	0/a	0/b	0/a	0/a	0/a	0	7/b
25	28 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
26	29 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
27	30 SPAN	9/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	0/a

〈표 4.4〉 무근콘크리트 라이닝 결함지수 및 상태평가 결과(계속)

No	Span No	균열	누수	파손 및 손상	재질열화				결함 점수 합계	라이닝 결함지수 (f)
					박리	충분리 박락	백태	재료 분리		
28	31 SPAN	9/b	4/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	4/b
29	32 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
30	33 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
31	34 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/b	0/a	0/a	0/a	0	6/b
32	35 SPAN	9/b	3/a	0/a	0/b	0/a	0/a	0/a	0	3/a
33	36 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
34	37 SPAN	9/c	7/a	0/a	0/a	0/c	1/a	0/a	0	8/c
35	38 SPAN	9/c	7/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	7/b
36	39 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
37	40 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
38	41 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
39	42 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
40	43 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
41	44 SPAN	9/b	4/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	4/b
42	45 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
43	46 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/c	1/a	0/a	0	7/b
44	47 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
45	48 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/c	1/a	0/a	0	7/b
46	49 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
47	50 SPAN	9/c	7/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	7/b
48	51 SPAN	9/b	5/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	5/b
49	52 SPAN	9/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	0/a
50	53 SPAN	9/a	0/a	0/a	0/a	0/c	1/a	0/a	0	1/a
51	54 SPAN	9/c	7/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	7/b
52	55 SPAN	9/a	0/a	0/a	0/b	0/a	0/a	0/a	0	0/a
53	56 SPAN	9/a	0/a	0/a	0/a	0/c	1/a	0/a	0	1/a
54	57 SPAN	9/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	0/a
55	58 SPAN	9/b	3/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	3/a
56	59 SPAN	9/a	0/a	0/a	0/a	0/c	1/a	0/a	0	1/a
57	60 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
58	61 SPAN	9/a	0/a	0/a	0/a	0/c	1/a	0/a	0	1/a
59	62 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
60	63 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/c	1/a	0/a	0	7/b
61	64 SPAN	9/a	0/a	0/a	0/a	0/c	1/a	0/a	0	1/a
62	65 SPAN	9/b	4/a	0/a	0/a	0/c	1/a	0/a	0	5/b
63	66 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
64	67 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/b	0/c	1/a	0/a	0	7/b
65	68 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/c	1/a	0/a	0	7/b
66	69 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
67	70 SPAN	9/d	9/a	0/a	0/a	0/c	1/a	0/a	0	10/c
68	71 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
69	72 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b
70	73 SPAN	9/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	0/a
71	74 SPAN	9/c	6/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	6/b

〈표 4.5〉 철근콘크리트 라이닝 결함지수 및 상태평가 결과

No	Span No	균열	누수	파손 및 손상	재질열화							결함 점수 합계	라이닝 결함지수 (f)
					박리	충분 리 박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화	염화 물		
1	1 SPAN	5/b	0/a	0/a	0/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	5	0.14/a
2	2 SPAN	0/a	0/a	0/b	0/a	1/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	1	0.03/a
3	3 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6	0.17/b
4	75 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	0/a
5	76 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0	0/a

나. 터널 주변상태 결함점수 산정

〈표 4.6〉 터널 주변상태 결함점수 산정결과

항목	배수상태	지반상태	갱문상태	공동구상태	특수조건	합계
결함점수	1.0	1.0	0.5	0.5	—	3.0

다. 부대시설 결함지수 및 상태평가 결과

해운대터널(부산)의 부대시설물로 적용되는 시설물은 시점부 좌측 옹벽이 있으며, 해당 옹벽에 대한 상태평가를 실시하였다. 부대시설의 결함지수 및 상태평가 등급은 다음 표와 같다.

〈표 4.7〉 부대시설 결함지수 산정결과

No	Span No	침하	활동	배수공 상태	계획 선형 오차	파손 손상	균열	마모 침식	재질 열화	세굴	결함 점수 합계	라이닝 결함지수 (f)
1	시점부 좌측 옹벽	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	4/c	0/a	0/a	0/a	4.0	0.05/a

〈표 4.8〉 부대시설 결함점수 및 가중치 산정결과

구분		결함점수 합계	부대시설 결함점수(f)	부대시설 가중치(W)
시점부	좌측 옹벽	4.0	0.05	1.0

라. 기본시설 상태평가 결과

〈표 4.9〉 기본시설 결함지수 산정

구분	균열	누수	파손 및 손상	재질열화							결함 점수 합계	라이닝 결함 지수
				박리	충분 리 박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화	염화물		
철근구간	2.20	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40	0.070
	b	a	a	a	a	a	a	a	a	a	—	a
무근구간	4.79	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	—	—	—	5.01	0.190
	b	a	a	a	a	a	a	—	—	—	—	b

〈표 4.10〉 기본시설 상태평가 등급 산정

구분		라이닝 결함점수 합계	라이닝 결함지수 (f)	터널 결함점수 합계	터널 결함지수 (F)	비고
해운대터널 (부산)	철근구간	2.40	0.070	5.40	0.008	—
	무근구간	5.01	0.190	8.01	0.220	—

구분	결함지수(F)	상태평가 등급
해운대터널(부산)	0.228	B

마. 전체시설 상태평가 결과(부산)

해운대터널(부산)의 상태안전성능 평가 산정결과 결함지수는 0.228로서 상태안전성능 평가 등급은 "b"등급($0.15 \leq x < 0.30$)인 것으로 평가되었다.

〈표 4.11〉 해운대터널(부산) 상태평가 결과

등 급	A	B	C	D	E
결함도 범위	$0 \leq F < 0.15$	$0.15 \leq F < 0.30$	$0.30 \leq F < 0.55$	$0.55 \leq F < 0.75$	$0.75 \leq F$

결함지수	0.228
상태평가결과	B

4.2 구조안전성능 평가

4.2.1 터널개요

가. 터널현황

해운대터널(부산방향)은 편도2차로의 도로 산악터널이다. NATM공법에 의해 굴착되었으며, 시점부 개착터널 3m, 중앙부 NATM터널 655m, 종점부 개착터널 22m, 총연장 680m인 2종 시설물이다. 본 과업은 준공도서(부산~울산간 고속도로 건설공사, 터널해석 및 검토구조계산서, 제1공구 해운대~송정 2002.4)를 참조하여 안정성평가를 실시하였다.

나. 설계 당시 구조계산서 활용 적정성 검토

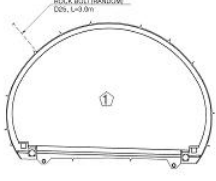
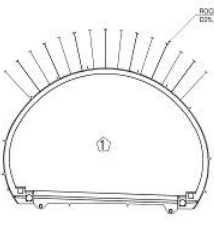
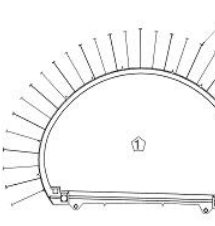
본 터널은 공용중인 시설물로서 설계 당시와 현재의 설계기준의 변경, 공용중 성능개선(보강) 등을 통한 구조계의 변경 등을 검토하여 준공도서 작성 당시의 구조계산서 활용 여부를 판단하고자 한다.

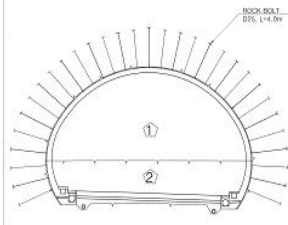
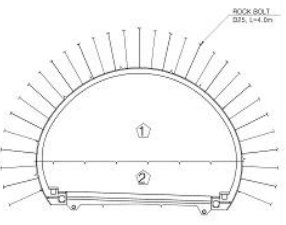
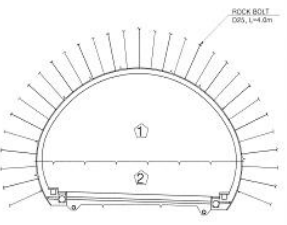
〈표 4.12〉 설계 당시와 현재 비교

구 분	준공도서 작성 당시(2004년)	현재(2018년)	비 고
설계 기준	• 콘크리트구조설계기준 (1999)	• 콘크리트구조기준 (2012)	• 전단강도감소계수가 설계당시 0.8에서 현재 0.75로 강화되었으나 예외조항에 기존 구조물검토 시에는 0.8을 적용할 수 있으므로 적정.
적용 하중	• 자중(LF=1.54) • 이완토압(LF=1.54) • 수압(LF=1.8) • 온도(LF=1.3)	• 자중(LF=1.2) • 연직토압(LF=1.4) • 수압(LF=1.3) • 온도(LF=1.2)	• 전반적으로 현 기준에 비해 준공도서 작성 당시의 하중계수가 크므로 준공도서를 통한 안정성 평가 적정.
사용 재료	• 라이닝콘크리트 fck=240kg/cm ²	• 라이닝콘크리트 비파괴강도시험결과 fck=24.3~29.4MPa	• 비파괴 시험 결과치가 설계강도를 상회하므로 설계강도 적용 적정.
기타			• 추가 보강 등의 구조계 변경 없음

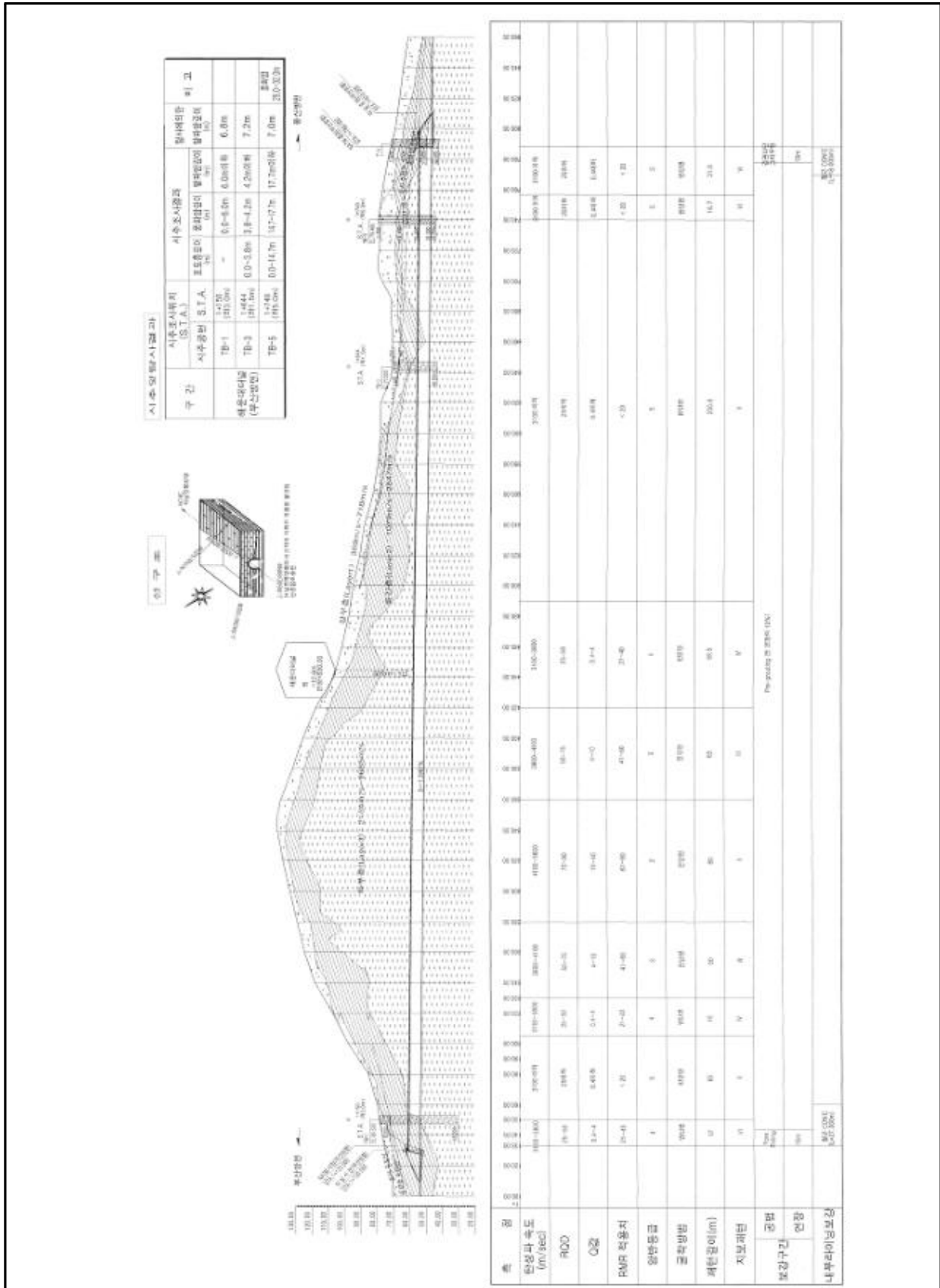
설계 당시와 현재의 설계기준, 하중, 사용재료, 기타 구조계의 변경 등을 검토한 결과 터널 안전율에 영향을 줄 수 있는 변경사항은 없는 것으로 판단되어 준공도서를 활용하여 구조안전성능 평가 실시하고자 한다.

4.2.2 지반해석(지보패턴 현황)

구 분	TYPE - 1	TYPE - 2	TYPE - 3
표준지보공도			
적용길이	-	230.0 m	260.0 m
대상암반 (RMR 값)	81 이상	80 ~ 61	60 ~ 41
굴착	굴착공법	전단면굴착	전단면굴착
	1회 굴진장/지보설치길이	3.5m / 7.0m	2.0m / 2.0m
지보패턴	shotcrete 두께	5 cm (일반)	8 cm (강섬유 보강)
	rock bolt	길이	3.0 m
		갯 수	RANDOM 1.142 {상부:0.571, 측벽:0.571}
		간격	RANDOM
	강제규격	-	-
	설치간격	-	-
라이닝 콘크리트	두께	30 cm	30 cm
	철근배근	-	-

구 분	TYPE - 4	TYPE - 5	TYPE - 6
표준지보공도			
적용길이	360.0 m	330.0 m	68.0 m
대상암반 (RMR 값)	40 ~ 21	20 이하	20 이하, 특수구간
굴착	굴착공법	반단면굴착	반단면굴착
	1회 굴진장/지보설치길이	상부:1.5m/1.5m, 하부:3.0m/3.0m	1.2m / 1.2m
지보패턴	shotcrete 두께	12 cm (강섬유 보강)	16 cm (강섬유 보강)
	rock bolt	길이	4.0 m
		갯 수	10.333 {상부:6.333, 측벽:4.000}
		간격	중방향: 1.5m, 횡방향: 1.5m
	강제규격	H - 100 x 100 x 6 x 8	H - 100 x 100 x 6 x 8
	설치간격	1.5 m	1.2 m
라이닝 콘크리트	두께	30 cm	30 cm
	철근배근	-	D19 @ 200 (갹구부등 중요구간에 설치)

〈그림 5.1〉 해운대터널(부산) 지보패턴 개요도



〈그림 5.2〉 해운대터널(부산) 지보패턴 적용 현황

4.2.3 해석조건

1) 해석위치선정

일반적으로 해석위치 선정은 터널계획 구간을 대표하는 지반으로서 터널 상부의 암 피목이 두텁거나 지형, 지질 또는 단면 형상이 터널의 안정성에 큰 영향을 미치는 구간, 터널 주변에 특별한 구조물 또는 지장물이 위치하는 구간 등을 대상으로 하게된다.

구 분	해석위치	지보패턴	지반조건	계획고 심도 (m)	비 고
송정터널	STA.1k200	Type-V	연암	28.86	동해남부선(계획) 통과
	STA.1k760	Type-VI	연암	6.57	출구부 편토압

2) 지반 및 지보재 특성치 분석

① 지반특성치

구 분	단위중량 (tf/m³)	점착력 (tf/m²)	마찰각 (°)	변형계수 (tf/m²)	포아송비 (ν)	축압계수 (Ko)
I	2.6	50	45	2,000	0.20	1.0,2.0
II	2.6	40	40	1,000	0.20	1.0,2.0
III	2.5	30	35	500	0.22	0.5,1.5
IV	2.4	20	30	100	0.26	0.5,1.5
V	2.2	10	25	40	0.30	0.5,1.5

② 해석단계별 하중분담율

구분	단위중량 (tf/m³)	변형계수 (tf/m²)	설계강도 (kgf/cm²)	비 고
연한 슛크리트	2.5	500,000	100	Type-1 : 일반스utc리트 Type-2~6 : 강섬유 슛크리트
강한 슛크리트	2.5	1,500,000	200	
록볼트	7.85	21,000,000	1,750	L=3~4(SD35 D25)

3) 해석프로그램

① 해석프로그램 : **FLAC**

② 해석모델 : **2D** 해석

4) 해석 프로그램 : **PENTAGON(3D 유한요소해석)**

① 전시공시 해석순서

- 1~3단계 : 해운대터널 좌측 상부 단면 굴착 및 지보설치
- 4~6단계 : 해운대터널 좌측 하부 단면 굴착 및 지보설치
- 7~9단계 : 해운대터널 우측 상부 단면 굴착 및 지보설치
- 10~12단계 : 해운대터널 우측 하부 단면 굴착 및 지보설치
- 13~15단계 : 동해남부선 전단면 굴착 및 지보설치

② 전시공시 하중분배율

- 해운대터널 :굴착시(40)⇒연한숏크리트+록볼트설치(30)⇒굳은 숏크리트 설치시(30)
- 동해남부선:굴착시(60)⇒연한숏크리트+록볼트설치(20)⇒굳은 숏크리트 설치시(20)

③ 후시공시 해석순서

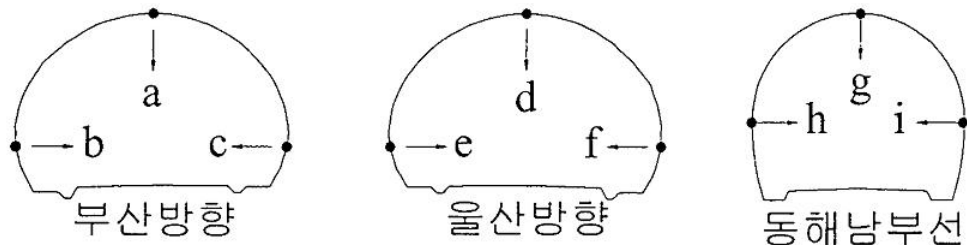
- 1~3단계 : 동해남부선 전단면 굴착 및 지보설치
- 4~6단계 : 해운대터널 좌측 상부 단면 굴착 및 지보설치
- 7~9단계 : 해운대터널 좌측 하부 단면 굴착 및 지보설치
- 10~12단계 : 해운대터널 우측 상부 단면 굴착 및 지보설치
- 13~15단계 : 해운대터널 우측 하부 단면 굴착 및 지보설치

④ 후시공시 하중분배율

- 동해남부선:굴착시(60)⇒연한숏크리트+록볼트설치(20)⇒굳은 숏크리트 설치시(20)
- 해운대터널 :굴착시(40)⇒연한숏크리트+록볼트설치(30)⇒굳은 숏크리트 설치시(30)

4.2.4 안전성능 판단기준

1) 터널 변위 해석위치



2) 천단침하의 관리기준치(터널반경 5.0m)

단위(cm)

주의레벨 \ 지 반	A(경암)	B(연암)	C(풍화암)
I	0.3~0.5	0.5~1.0	1.0~3.0
II	1.0~1.5	1.5~4.0	4.0~9.5
III	3.0~4.0	4.0~11	11~27

3) 내공변위에 의한 시공관리 기준(터널반경 5.0m 기준)

단위(cm)

지 반 \ 관리기준		주의수준 I		주의수준 II
		내공변위	변위속도	내공변위
경암지반		2.0~3.0	0.5/day 3일간 지속	3.0~5.0
애추지반		3.0~5.0	0.5/day 3일간 지속	5.0~7.0
토사계 지반	사질토	2.0~3.0	0.5/day 3일간 지속	3.0~5.0
	점성토	3.0~5.0	1.0/day 3일간 지속	5.0~7.0
팽창성지반		10.0	3.0/day 3일간 지속	20~30
대응책		계측결과, 현장상황을 종합적으로 판단하고 대책을 결정, 계측회수를 많이하고 주의해서 시공		대책강구(공법 변경, 보조 공법 추가 또는 지보부재 추가)

4) 지보재 허용응력 및 허용축력 결정

구 분		단위	연한숏크리트		굳은숏크리트		비고
			fck=100 kgf/cm2		fck=210 kgf/cm2		
숏크리트	압축응력	kgf/cm2	$0.4 \times fck$	40.0	$0.4 \times fck$	84.0	
	인장응력	kgf/cm2	$0.42 \times \sqrt{fck}$	4.2	$0.42 \times \sqrt{fck}$	6.1	
	전단응력	kgf/cm2	$0.25 \times \sqrt{fck}$	2.5	$0.25 \times \sqrt{fck}$	3.6	
록볼트	축력	tf	$f_{sa} \times A = 17,500 \text{tonf/m}^2 \times (0.0254 \text{m})^2 \times \pi \div 4$ ≈ 8.9				

4.2.5 해석결과

1) 해석결과(STA. 1+200(TYPE-V))

① 지반특성 및 지보패턴

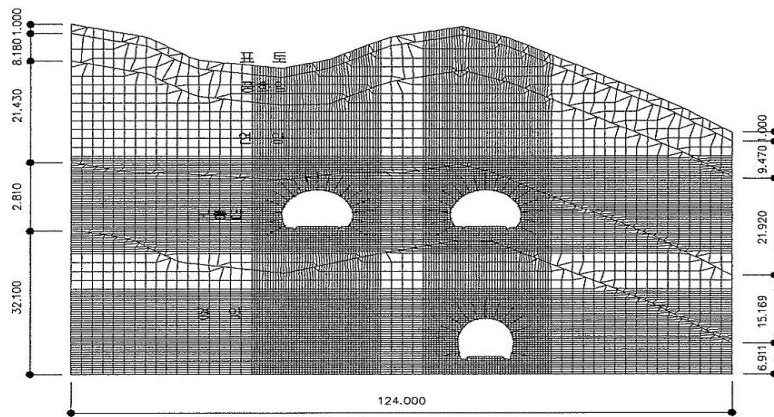
- 지반특성치

구 분	단위중량 (tf/m³)	점착력 (tf/m²)	마찰각 (°)	변형계수 (tf/m²)	포아송비 (ν)	측압계수 (Ko)
토사	2.0	3	20	2	0.35	해운대터널 : 0.5, 1.5 동해남부선 : 1.0, 2.0
II	2.6	40	40	1,000	0.20	
III	2.5	30	35	500	0.22	
IV	2.4	20	30	100	0.26	
V	2.2	10	25	40	0.30	

- 지보패턴

구 분		해운대터널		동해남부선
		울산방향	부산방향	
굴착방법		반단면굴착	반단면굴착	전단면굴착
굴진장(m)		1.2	1.2	3.5
숏크리트 두께(cm)		16.0	16.0	15.0
록볼트	길이(m)	4.0	4.0	3.0
	횡간격(m)	1.5	1.5	2.0
	종간격(m)	1.2	1.2	2.0

- 해석모델



② 해석결과

구 분	최대 천단변위 (mm)		최대 내공변위 (mm)		최대압축응력 (kgf/cm ²)		록볼트 최대축력 (tonf)	
	Ko=0.5	Ko=1.5	Ko=0.5	Ko=1.5	Ko=0.5	Ko=1.5	Ko=0.5	Ko=1.5
해운대터널 선시공시	3.671 (0.553)	3.185 (0.668)	4.493 (1.535)	3.337 (4.627)	54.428 (3.943)	56.239 (15.034)	1.444 (0.426)	1.469 (1.522)
해운대터널 후시공시	3.563 (0.228)	2.703 (0.607)	3.741 (1.015)	2.708 (4.675)	45.475 (6.003)	61.292 (25.069)	1.706 (0.543)	1.499 (1.685)

-허용 휨압축응력 : $f_{ck} = 0.4 \times 210 = 84 \text{ kgf/cm}^2$

-허용 록볼트축력 : $0.5 f_y \cdot A_s = 0.5 \times 3,500 \times \pi/4 \times 2.542 = 8.867 \text{ tonf}$

※ ()는 동해남부선 결과치임

③ 해석결과 및 분석

- 변위량

- 해석결과, 천단부의 최대 변위는 -3.671mm로 나타났으며, 측벽부의 최대 변위는 -4.493mm로 나타났다. 이는 터널 주변에서 발생하는 변위량이 미소하고 최종단계에서 수렴하는 경향을 보이므로 터널의 안정성에는 거의 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

구 분	천단변위	내공변위	비 고
최대 변위(mm)	-3.671	-4.493	

- 지보재 응력

- NATM에서 슛크리트는 록볼트와 함께 주지보재로 작용하며 굴착면에 밀착되어 그 자체로서 응력을 수용하면서 원지반을 삼축응력상태로 구속하여 지반의 전단강도를 높이는 작용을 한다. 해석결과, 슛크리트의 최대 압축응력은 61.29kgf/cm^2 로 나타났고, 최대 록볼트 축력은 1.71ton 발생하였으며, 이는 허용응력 이내로서 터널 및 지보재의 안정성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

- 응력 검토결과

구 분	스�크리트 휨응력 (kgf/cm^2)		록볼트 축력 (ton)		비 고
	발생응력	허용응력	최대축력	허용축력	
지보재 응력	61.29	84.0	1.71	8.75	OK

2) 해석결과(STA. 1+760(TYPE-VI))

① 지반특성 및 지보패턴

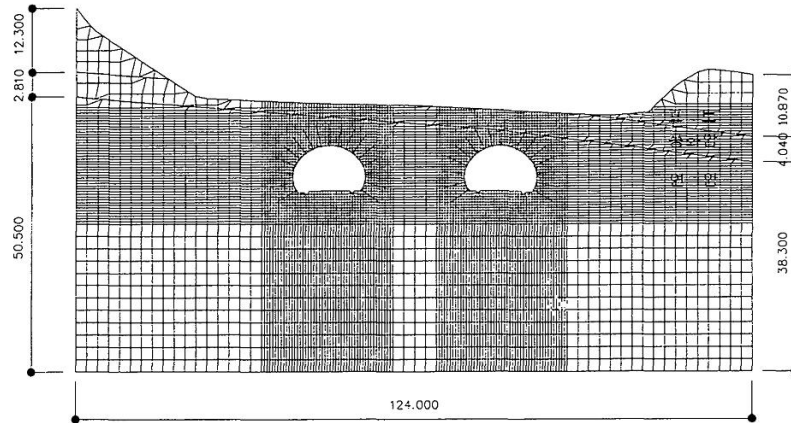
- 지반특성치

구 분	단위중량 (tf/m^3)	점착력 (tf/m^2)	마찰각 ($^\circ$)	변형계수 (tf/m^2)	포아송비 (ν)	측압계수 (K_0)
토사	2.0	3	20	2	0.35	0.5, 1.5
IV	2.4	20	30	100	0.26	
V	2.2	10	25	40	0.30	

- 지보패턴

구 분		울산방향	부산방향
굴착방법		반단면굴착	반단면굴착
굴진장(m)		1.2	1.2
스�크리트 두께 (cm)		16.0	16.0
록볼트	길이(m)	4.0	4.0
	횡간격(m)	1.5	1.5
	종간격(m)	1.2	1.2

- 해석모델



② 해석결과

최대 천단변위 (mm)		최대 내공변위 (mm)		최대압축응력 (kgf/cm ²)		록볼트 최대축력 (tonf)	
Ko=0.5	Ko=1.5	Ko=0.5	Ko=1.5	Ko=0.5	Ko=1.5	Ko=0.5	Ko=1.5
14.610	13.070	0.792	1.797	53.688	45.102	2.997	2.377

-허용 휨압축응력 : $f_{ck} = 0.4 \times 210 = 84 \text{ kgf/cm}^2$
 -허용 록볼트축력 : $0.5 f_y \cdot A_s = 0.5 \times 3,500 \times \pi/4 \times 2.542 = 8.867 \text{ tonf}$

③ 해석결과 및 분석

- 변위량

- 해석결과, 천단부의 최대 변위는 -14.61mm로 나타났으며, 측벽부의 최대 변위는 -1.797mm로 나타났다. 이는 터널 주변에서 발생하는 변위량이 미소하고 최종단계에서 수렴하는 경향을 보이므로 터널의 안정성에는 거의 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

구 분	천단변위	내공변위	비 고
최대 변위(mm)	-14.610	-1.797	

- 지보재 응력

- NATM에서 슛크리트는 록볼트와 함께 주지보재로 작용하며 굴착면에 밀착되어 그 자체로서 응력을 수용하면서 원지반을 삼축응력상태로 구속하여 지반의 전단강도를 높이는 작용을 한다. 해석결과, 슛크리트의 최대 압축응력은 53.688kgf/cm²로 나타났고, 최대 록볼트 축력은 2.997ton 발생하였으며, 이는 허용응력 이내로서 터널 및 지보재의 안정성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

- 응력 검토결과

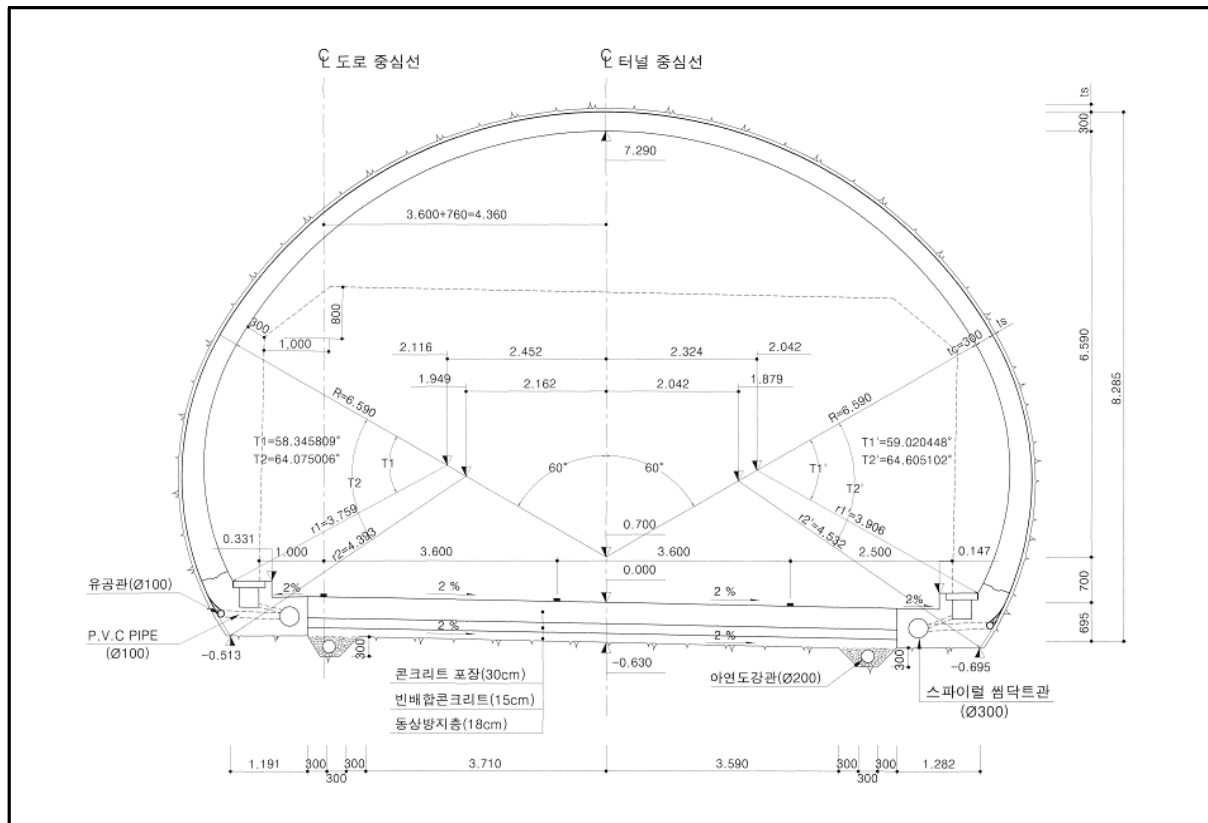
구 분	스�크리트 휨응력(kgf/cm ²)		록볼트 축력(ton)		비 고
	발생응력	허용응력	최대축력	허용축력	
지보재 응력	53.688	84.0	2.997	8.75	OK

4.2.6 콘크리트 라이닝 해석

1) 라이닝 해석(TYPE-IV)

① 해석개요

구 분	설 계 방 향
-터널의 사용목적에 적합하고 -오랜기간의 사용에 안전할 것	-도로터널 시설한계와 터널 여유치를 만족하고 -1차지보의 시간 경과에 따른 기능 저하가 예상되는 구간에 대해서 이완하중을 외력으로 작용하여 사용성 및 내구성 확보
-내공단면을 만족하고 축력전달이 원활한 형상	-3심원 터널로 구성된 콘크리트 라이닝 단면을 계획함으로써 구조적으로 안정한 최적의 단면형상 계획
-콘크리트 라이닝의 설계 두께	-콘크리트 라이닝 두께는 2차로 단면을 감안하여 30cm~75cm로 계획하여 사용성 및 안전성 고려
-콘크리트 라이닝 배합설계	-소요강도,내구성 및 양호한 시공성이 확보될 수 있는배합설계(설계강도-굵은골재-슬럼프:240-32-15cm)
-콘크리트 라이닝에 유해한 균열이 발생할 염려가 있는 경우에 균열에 대한 대책강구	-터널시공시 발생하는 종방향 균열의 원인이 되는 콘크리트 라이닝 천정부의 배면 공극을 방지하기 위하여 배면 공극 충전용 그라우팅 적용
-콘크리트 라이닝 천정부에 공극 충전용 그라우팅 홀 설치	-시공순서에 충전용 그라우팅 홀 상세 표기
-지반 특성별 이완하중 고려	-암반터널 : 수정 Terzaghi의 암반하중 분류법에 의한 이완하중 적용



〈그림 5.3〉 해운대터널(부산) 표준단면도

② 검토방법

- 검토개요

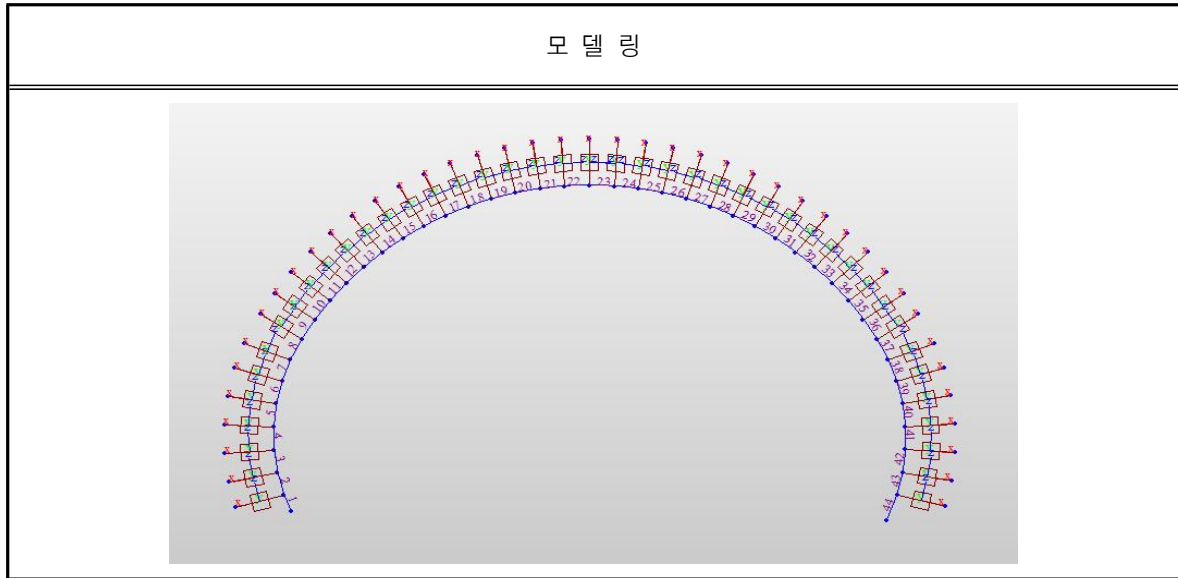
: 무근콘크리트에 대한 구조해석을 수행하여 허용응력 이내의 경우 허용응력설계법 적용.

- 사용재료 및 허용응력

사용재료	설계기준강도 (kg/cm ²)	허용응력 (kg/cm ²)	
무근콘크리트	$f_{ck} = 240$	허용압축응력	$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 96.0$
		허용인장응력	$f_{ta} = 0.42 \sqrt{f_{ck}} = 6.5$
		허용전단응력	$\tau_a = 0.25 \sqrt{f_{ck}} = 3.8$

- 수치해석 결과가 허용응력을 초과하는 경우 강도설계법을 적용하여 철근보강.

- 해석모델링



〈그림 5.4〉 라이닝 모델링 개념도

- 부재단면

구분	B(m)	H(m)	A(m²)	I(m4)	부재번호
1	1.000	0.300	0.300	2.250E-3	9~36
2	1.000	0.300~0.437	0.300~0.437	2.250E-3 ~6.954E-3	1~8
3	1.000	0.300~0.438	0.300~0.438	2.250E-3 ~7.002E-3	37~44

- 지반스프링 계수

: 내부라이닝과 지반과의 실제 거동을 고려하기 위하여 모든 인장 스프링 요소는 반복 계산을 통하여 제거시킴.

$$k = E/R \times A = E/R \times L \times 1.0$$

여기서,

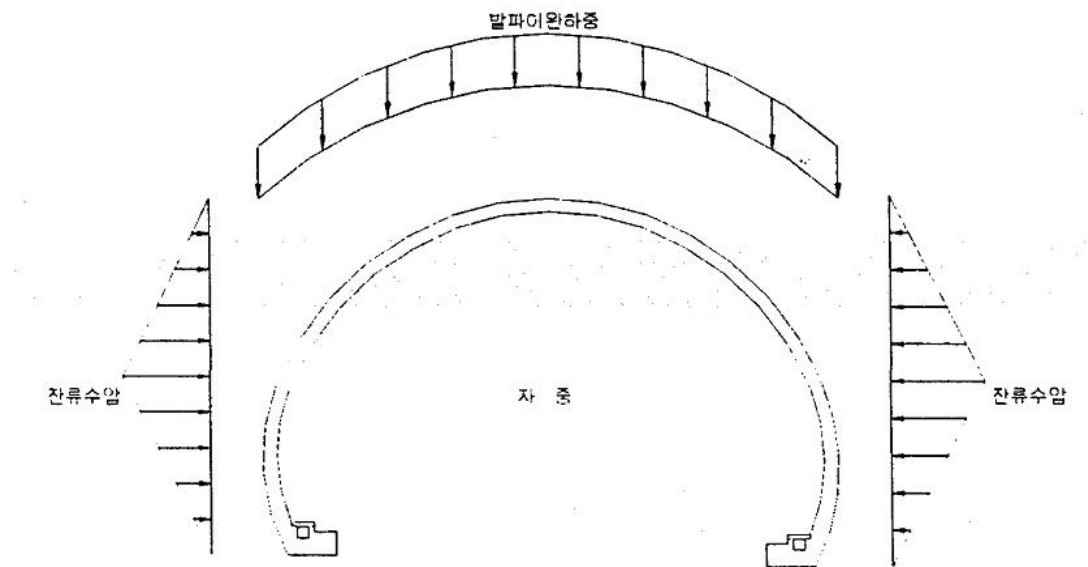
E : 터널주변 암반의 탄성계수 (100,000 tonf/m²)

R : 터널라이닝 등가반경

L : 요소점유길이

구분	탄성계수 E(tonf/m ²)	터널반경 R(m)	부재길이 l(m)	지반스프링계수 k(tonf/m ³)	부재번호
1	100,000	6.740	0.500	7,418	9~36
2	100,000	4.071	0.500	12,282	1~8
3	100,000	4.214	0.500	11,865	37~44

- 하중 작용도

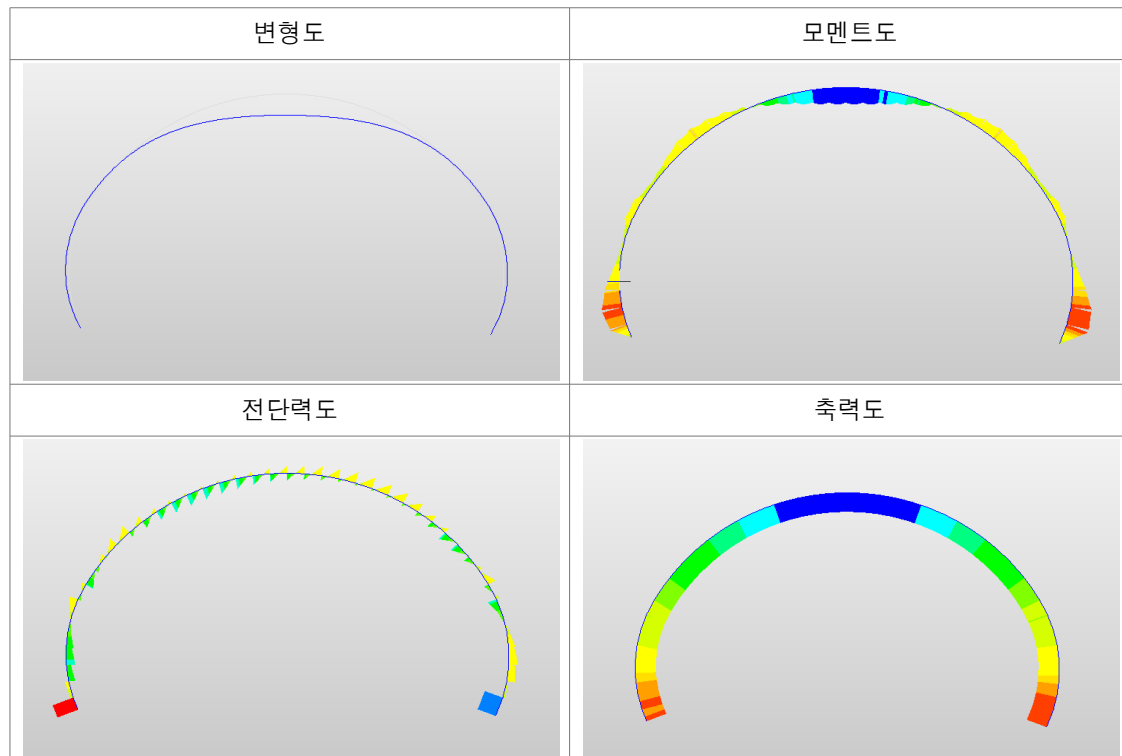


③ 구조계산결과

- 계산결과

구분	모멘트(tonf · m)	축력(tonf)	전단력(tonf)	비고
천단부	3.599	89.096	5.183	23번 부재
측벽부(좌)	4.446	92.701	9.669	2번 부재
측벽부(우)	4.893	93.089	8.479	43번 부재

- 단면력도



- 단면검토 결과

천단부 (23번 부재)	fck=240 kg/cm ²	fca=96 kg/cm ²	P=89.096 tonf	M=3.599 tonf · m	V=5.183 tonf
	fc= 536.920 tonf/m ²		τ = 17.276 tonf/m ²		A=0.30m ²
	fca=960 tonf/m ²		τ a= 38 tonf/m ²		Z=0.015m ³
안전율	1.79 ----> O.K		2.19----> O.K		

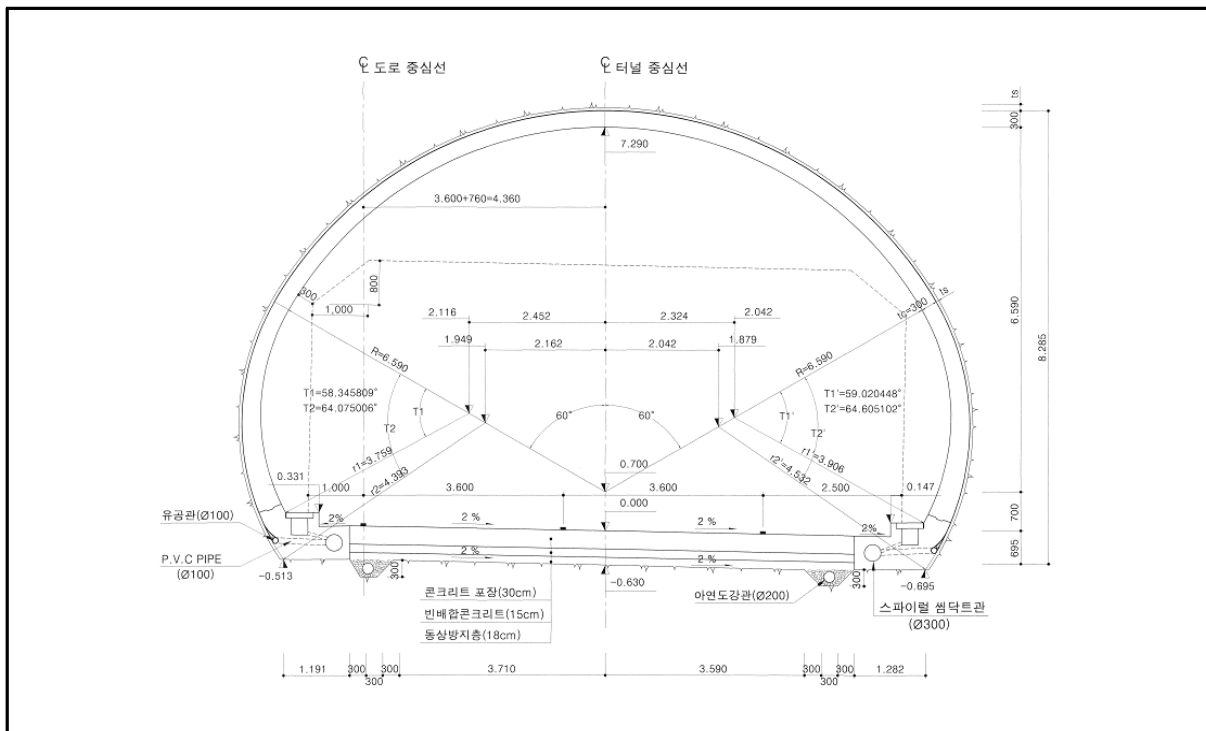
측벽부(좌) (2번 부재)	fck=240 kg/cm ²	fca=96 kg/cm ²	P=92.701 tonf	M=4.446 tonf · m	V=9.669 tonf
	fc= 351.067 tonf/m ²		τ = 22.174 tonf/m ²		A=0.437m ²
	fca=960 tonf/m ²		τ a= 38 tonf/m ²		Z=0.032m ³
안전율	2.73 ----> O.K		1.35 ----> O.K		

측벽부(우) (43번 부재)	fck=240 kg/cm ²	fca=96 kg/cm ²	P=93.089 tonf	M=4.893 tonf · m	V=8.479 tonf
	fc= 365.438 tonf/m ²		τ = 19.358 tonf/m ²		A=0.438m ²
	fca=960 tonf/m ²		τ a= 38 tonf/m ²		Z=0.032m ³
안전율	2.63----> O.K		1.96 ----> O.K		

2) 라이닝 해석(TYPE-V)

① 해석개요

구 분	설 계 방 향
-터널의 사용목적에 적합하고 -오랜기간의 사용에 안전할 것	-도로터널 시설한계와 터널 여유치를 만족하고 -1차지보의 시간 경과에 따른 기능 저하가 예상되는 구간에 대해서 이완하중을 외력으로 작용하여 사용성 및 내구성 확보
-내공단면을 만족하고 축력전달이 원활한 형상	-3심원 터널로 구성된 콘크리트 라이닝 단면을 계획함으로써 구조적으로 안정한 최적의 단면형상 계획
-콘크리트 라이닝의 설계 두께	-콘크리트 라이닝 두께는 2차로 단면을 감안하여 30cm~75cm로 계획하여 사용성 및 안전성 고려
-콘크리트 라이닝 배합설계	-소요강도,내구성 및 양호한 시공성이 확보될 수 있는배합설계(설계강도-굵은골재-슬럼프:240-32-15cm)
-콘크리트 라이닝에 유해한 균열이 발생할 염려가 있는 경우에 균열에 대한 대책강구	-터널시공시 발생하는 종방향 균열의 원인이 되는 콘크리트 라이닝 천정부의 배면 공극을 방지하기 위하여 배면 공극 충전용 그라우팅 적용
-콘크리트 라이닝 천정부에 공극 충전용 그라우팅 홀 설치	-시공순서에 충전용 그라우팅 홀 상세 표기
-지반 특성별 이완하중 고려	-암반터널 : 수정 Terzaghi의 암반하중 분류법에 의한 이완하중 적용



〈그림 5.5〉 해운대터널(부산) 표준단면도

② 검토방법

- 검토개요

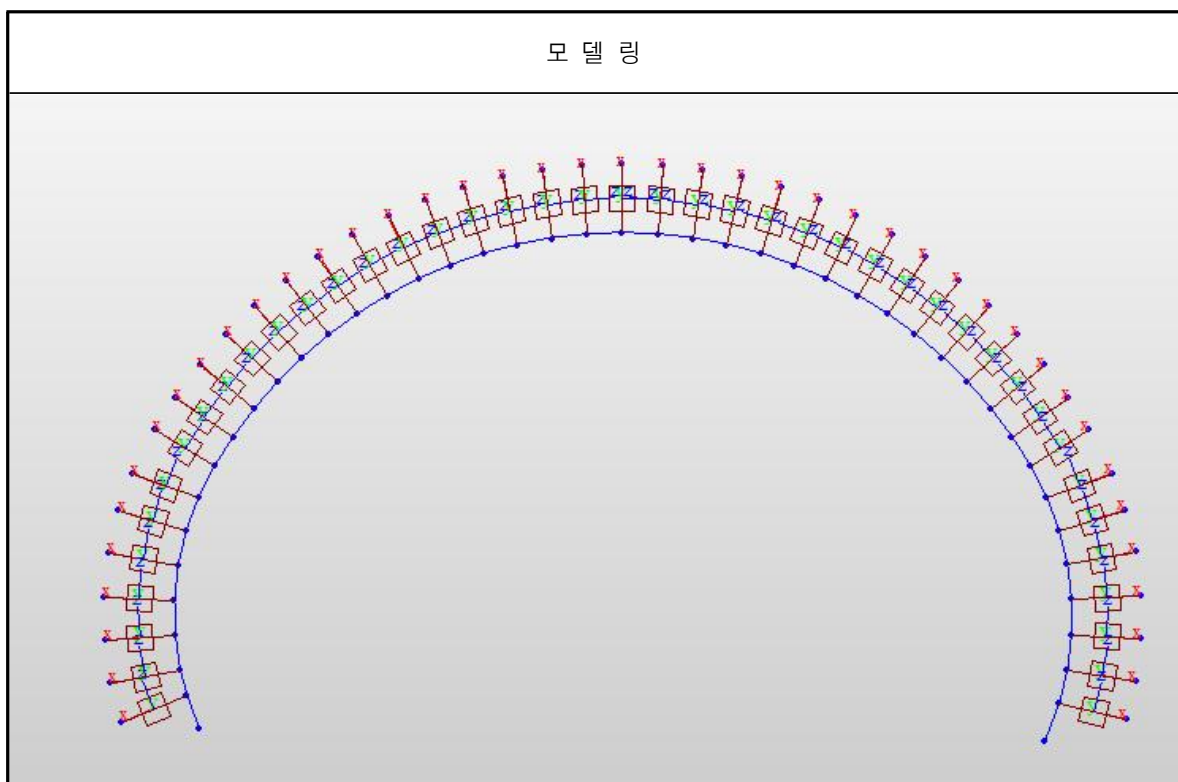
: 무근콘크리트에 대한 구조해석을 수행하여 허용응력 이내의 경우 허용응력설계법 적용.

- 사용재료 및 허용응력

사용재료	설계기준강도 (kg/cm ²)	허용응력 (kg/cm ²)	
무근콘크리트	$f_{ck} = 240$	허용압축응력	$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 96.0$
		허용인장응력	$f_{ta} = 0.42 \sqrt{f_{ck}} = 6.5$
		허용전단응력	$\tau_a = 0.25 \sqrt{f_{ck}} = 3.8$

- 수치해석 결과가 허용응력을 초과하는 경우 강도설계법을 적용하여 철근보강.

- 해석모델링



〈그림 5.6〉 라이닝 모델링 개념도

- 부재 단면

구분	B(m)	H(m)	A(m ²)	I(m ⁴)	부재번호
1	1.000	0.300	0.300	2.250E-3	9~36
2	1.000	0.300~0.437	0.300~0.437	2.250E-3 ~6.954E-3	1~8
3	1.000	0.300~0.438	0.300~0.438	2.250E-3 ~7.002E-3	37~44

- 지반스프링 계수

: 내부라이닝과 지반과의 실제 거동을 고려하기 위하여 모든 인장 스프링 요소는 반복 계산을 통하여 제거시킴.

$$k = E/R \times A = E/R \times L \times 1.0$$

여기서,

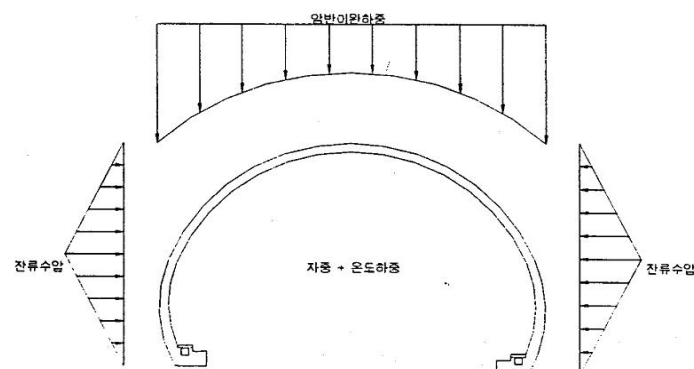
E : 터널주변 암반의 탄성계수 (40,000 tonf/m²)

R : 터널라이닝 등가반경

L : 요소점유길이

구분	탄성계수 E(tonf/m ²)	터널반경 R(m)	부재길이 l(m)	지반스프링계수 k(tonf/m ²)	부재번호
1	40,000	6.740	0.500	2,967	9~36
2	40,000	4.071	0.500	4,913	1~8
3	40,000	4.214	0.500	4,746	37~44

- 하중 작용도

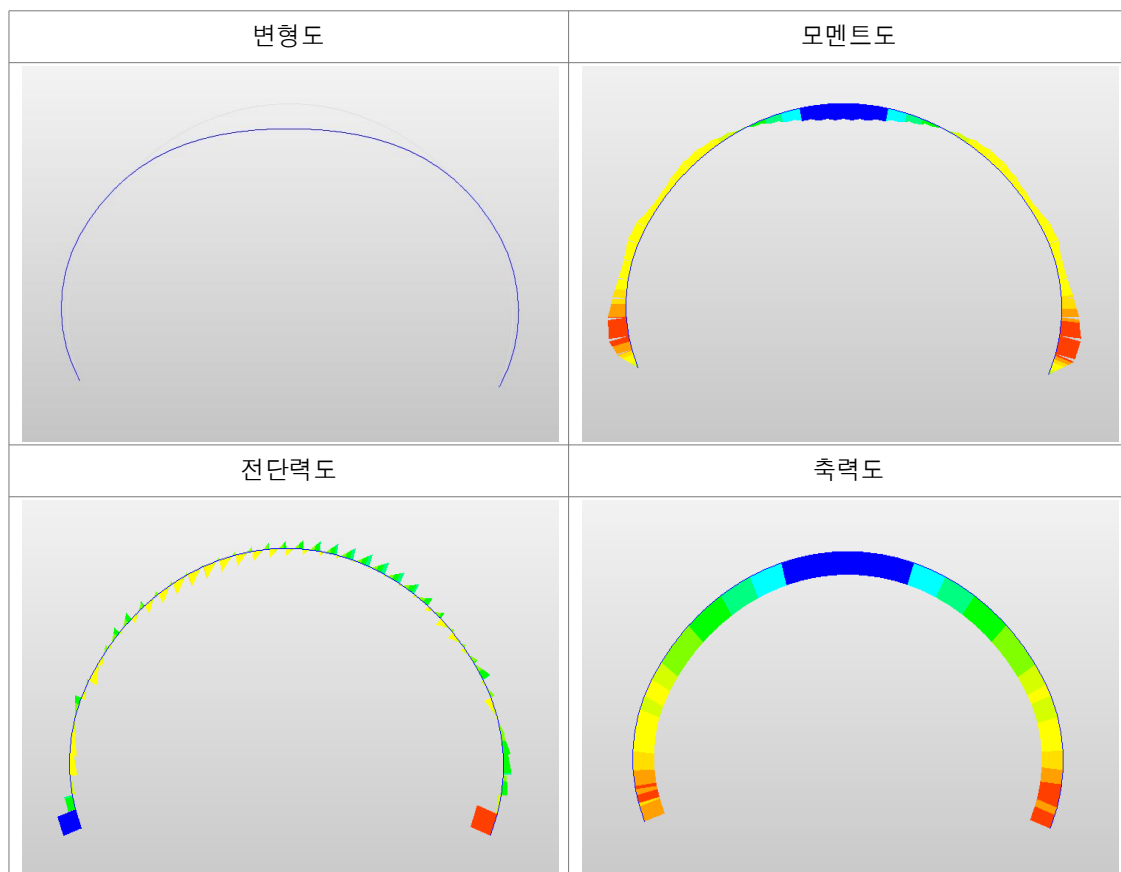


③ 구조계산결과

- 계산결과

구분	모멘트(tonf · m)	축력(tonf)	전단력(tonf)	비고
천단부	7.100	138.394	8.493	23번 부재
측벽부(좌)	9.712	142.086	14.718	2번 부재
측벽부(우)	10.383	142.630	16.579	42번 부재

- 단면력도



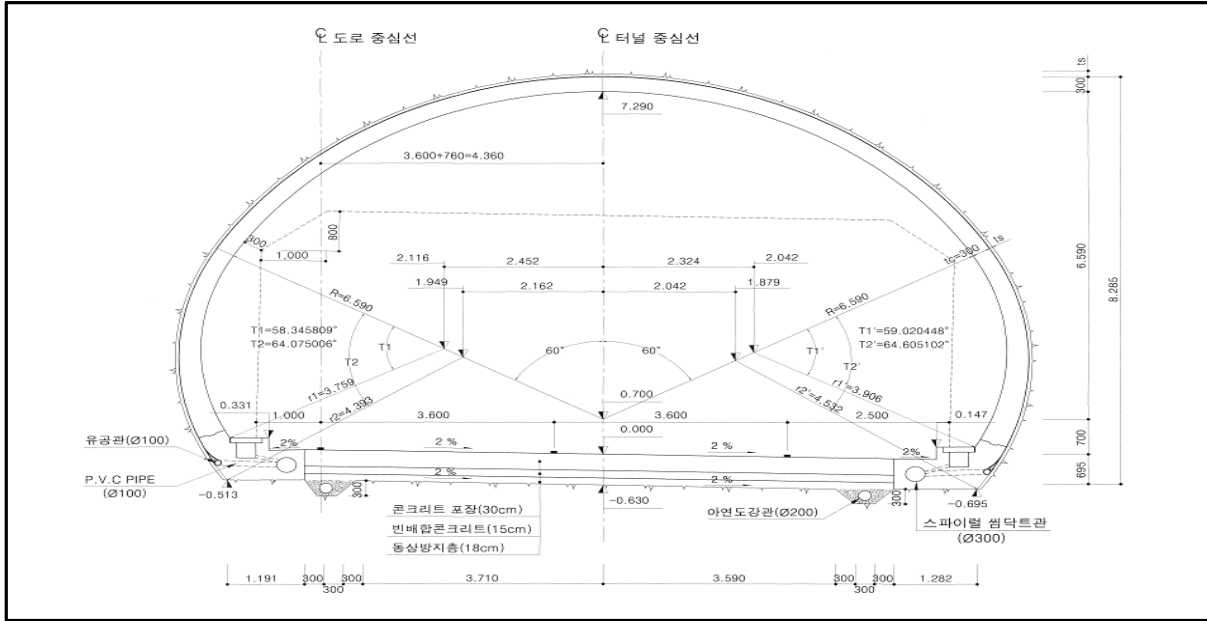
- 단면검토 결과

천단부 (23번 부재)	fck=240 kg/cm ²	fca=96 kg/cm ²	P=138.394 tonf	M=7.100 tonf · m	V=8.493 tonf
	fc= 934.646 tonf/m ²		$\tau = 28.310 \text{tonf/m}^2$		A=0.30m ²
	fca=960 tonf/m ²		$\tau a = 38 \text{tonf/m}^2$		Z=0.015m ³
안전율	1.03 ----> O.K		1.34----> O.K		
측벽부(좌) (2번 부재)	fck=240 kg/cm ²	fca=96 kg/cm ²	P=142.086 tonf	M=9.712 tonf · m	V=14.718 tonf
	fc= 628.639 tonf/m ²		$\tau = 33.679 \text{tonf/m}^2$		A=0.437m ²
	fca=960 tonf/m ²		$\tau a = 38 \text{tonf/m}^2$		Z=0.032m ³
안전율	1.53 ----> O.K		1.13----> O.K		
측벽부(우) (42번 부재)	fck=240 kg/cm ²	fca=96 kg/cm ²	P=142.630 tonf	M=10.383 tonf · m	V=16.579 tonf
	fc= 650.108 tonf/m ²		$\tau = 37.851 \text{tonf/m}^2$		A=0.438m ²
	fca=960 tonf/m ²		$\tau a = 38 \text{tonf/m}^2$		Z=0.032m ³
안전율	1.48----> O.K		1.01 ----> O.K		

3) 라이닝 해석(TYPE-V,VI)

① 해석개요

구 분	설 계 방 향
-터널의 사용목적에 적합하고 -오랜기간의 사용에 안전할 것	-도로터널 시설한계와 터널 여유치를 만족하고 -1차지보의 시간 경과에 따른 기능 저하가 예상되는 구간에 대해서 이완하중을 외력으로 작용하여 사용성 및 내구성 확보
-내공단면을 만족하고 축력전달이 원활한 형상	-3심원 터널로 구성된 콘크리트 라이닝 단면을 계획함으로써 구조적으로 안정한 최적의 단면형상 계획
-콘크리트 라이닝의 설계 두께	-콘크리트 라이닝 두께는 2차로 단면을 감안하여 30cm~75cm로 계획하여 사용성 및 안전성 고려
-콘크리트 라이닝 배합설계	-소요강도,내구성 및 양호한 시공성이 확보될 수 있는배합설계(설계강도-굵은골재-슬럼프:240-32-15cm)
-콘크리트 라이닝에 유해한 균열이 발생할 염려가 있는 경우에 균열에 대한 대책강구	-터널시공시 발생하는 종방향 균열의 원인이 되는 콘크리트 라이닝 천정부의 배면 공극을 방지하기 위하여 배면 공극 충전용 그라우팅 적용
-콘크리트 라이닝 천정부에 공극 충전용 그라우팅 홀 설치	-시공순서에 충전용 그라우팅 홀 상세 표기
-지반 특성별 이완하중 고려	-암반터널 : 수정 Terzaghi의 암반하중 분류법에 의한 이완하중 적용



〈그림 5.7〉 해운대터널(부산) 표준단면도

② 검토방법

- 검토개요

: 안전성 검토시 강도설계법을 적용하여 검토하였음.

- 사용재료 및 허용응력

콘크리트

콘크리트 설계기준강도 : $f_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2$

탄성계수 : $E_c = 15,000\sqrt{f_{ck}} = 2.32 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

단위중량 : $\gamma_c = 2.50 \text{ tonf/m}^3$

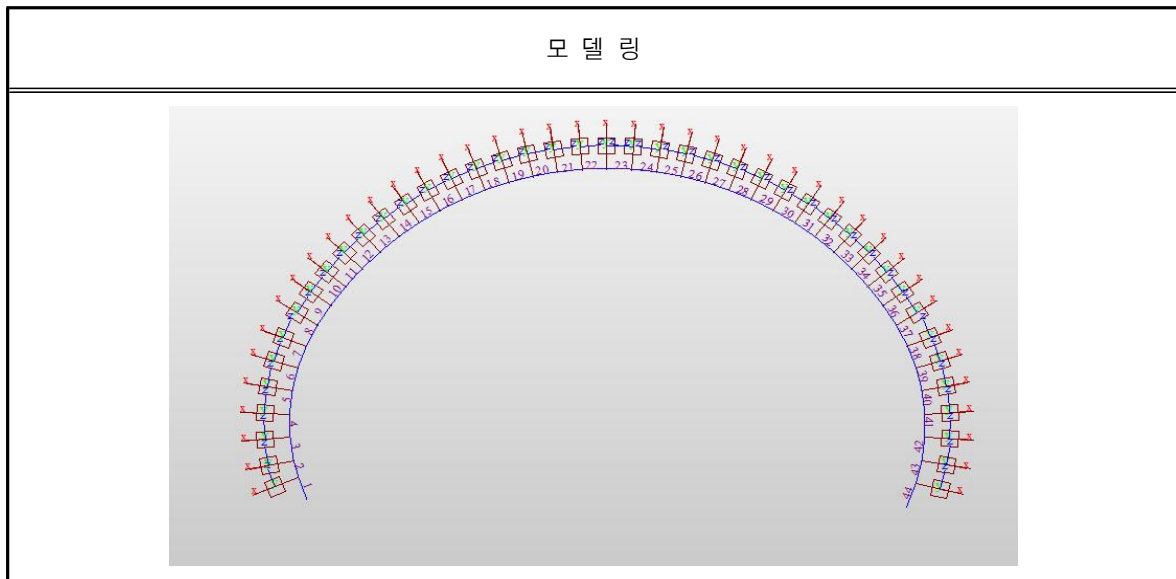
온도선팽창계수 : $\alpha = 1 \times 10^{-5}$

철근(SD30)

항복강도 : $f_y = 3,000 \text{ kg/cm}^2$

탄성계수 : $E_c = 2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

- 해석모델링



〈그림 5.8〉 라이닝 모델링 개념도

- 부재단면

구분	B(m)	H(m)	A(m ²)	I(m ⁴)	부재번호
1	1.000	0.300	0.300	2.250E-3	9~36
2	1.000	0.300~0.437	0.300~0.437	2.250E-3 ~6.954E-3	1~8
3	1.000	0.300~0.438	0.300~0.438	2.250E-3 ~7.002E-3	37~44

- 지반스프링 계수

: 내부라이닝과 지반과의 실제 거동을 고려하기 위하여 모든 인장 스프링 요소는 반복 계산을 통하여 제거시킴.

$$k = E/R \times A = E/R \times L \times 1.0$$

여기서,

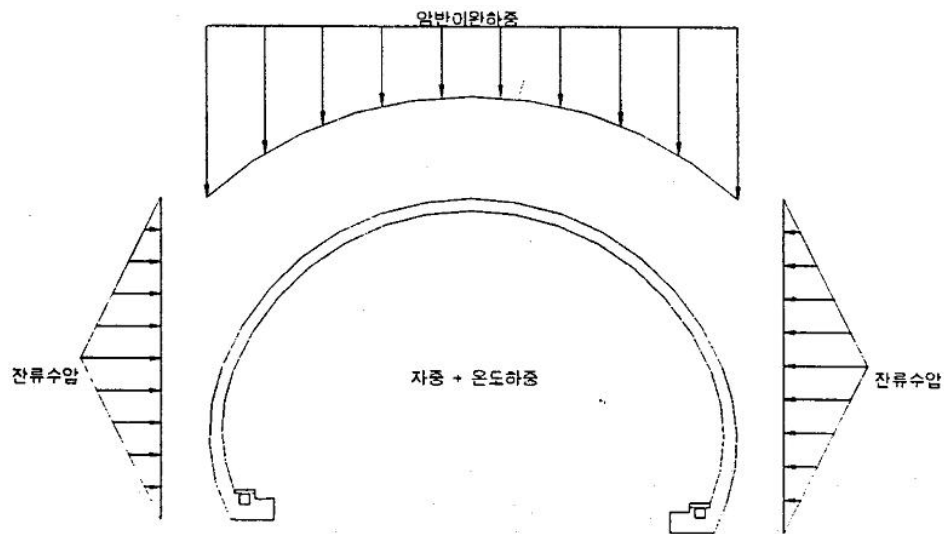
E : 터널주변 암반의 탄성계수 (40,000 tonf/m²)

R : 터널라이닝 등가반경

L : 요소점유길이

구분	탄성계수 E(tonf/m ²)	터널반경 R(m)	부재길이 l(m)	지반스프링계수 k(tonf/m ²)	부재번호
1	40,000	6.740	0.500	2,967	9~36
2	40,000	4.071	0.500	4,913	1~8
3	40,000	4.214	0.500	4,746	37~44

- 하중 작용도

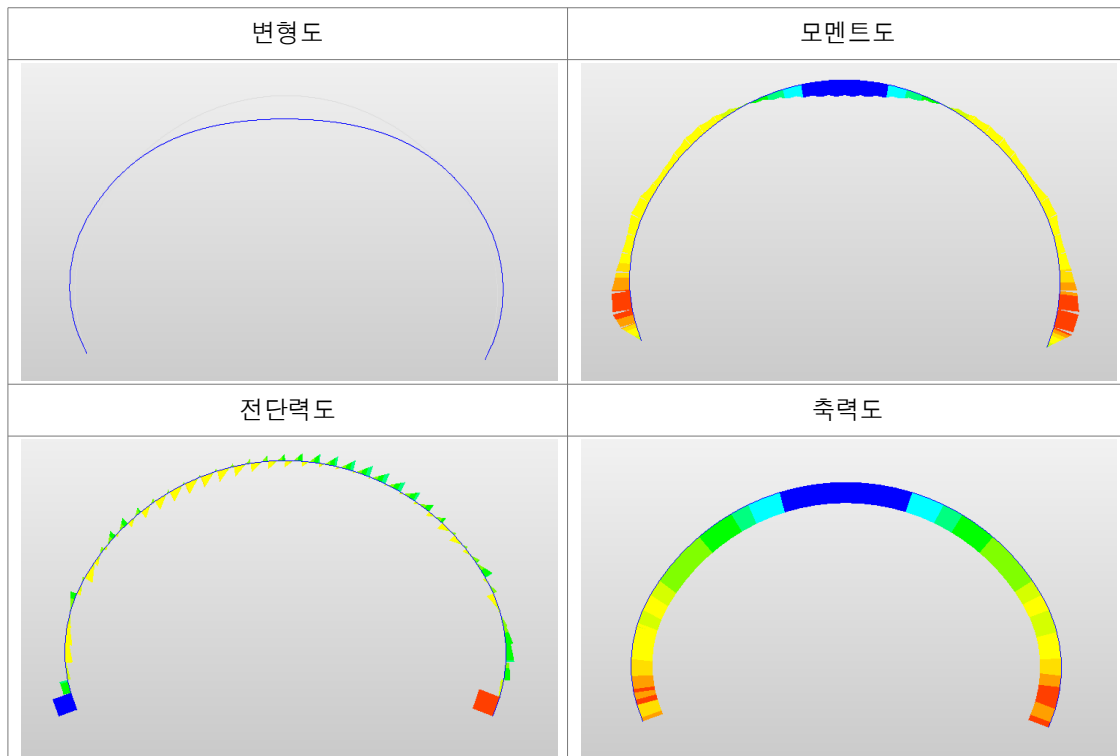


③ 구조계산결과

- 계산결과

구분	모멘트(tonf · m)	축력(tonf)	전단력(tonf)	비고
천단부	11.890	218.718	13.430	7.100
측벽부(좌)	15.220	223.412	23.099	9.712
측벽부(우)	16.266	224.225	26.022	10.383

- 단면력도



- 단면검토 결과

천단부	$f_{ck}=240$ kg/cm ²	$f_y=3,000$ kg/cm ²	$d=30.0\text{cm}$	$d_c=5.0\text{cm}$
	$B=100\text{cm}$	$\phi=0.85$	$\phi_c=0.70$	$\phi_v=0.80$
	$M_u= 11.890 \text{ t} \cdot \text{m}$	$P_u= 218.718 \text{ tonf}$	$S_u= 13.430 \text{ tonf}$	
	$M_d= 18.373 \text{ t} \cdot \text{m}$	$P_d= 368.218 \text{ tonf}$	$S_d= 28.466 \text{ tonf}$	
안전율	1.54 ---> O.K		1.68 ---> O.K	

측벽부(좌)	$f_{ck}=240$ kg/cm ²	$f_y=3,000$ kg/cm ²	$d=43.7\text{cm}$	$d_c=5.0\text{cm}$
	$B=100\text{cm}$	$\phi=0.85$	$\phi_c=0.70$	$\phi_v=0.80$
	$M_u= 15.220 \text{ t} \cdot \text{m}$	$P_u= 223.412 \text{ tonf}$	$S_u= 23.099 \text{ tonf}$	
	$M_d= 32.506 \text{ t} \cdot \text{m}$	$P_d= 521.071 \text{ tonf}$	$S_d= 41.846 \text{ tonf}$	
안전율	2.13 ---> O.K		2.33 ---> O.K	

측벽부(우)	$f_{ck}=240$ kg/cm ²	$f_y=3,000$ kg/cm ²	$d=43.8\text{cm}$	$d_c=5.0\text{cm}$
	$B=100\text{cm}$	$\phi=0.85$	$\phi_c=0.70$	$\phi_v=0.80$
	$M_u= 16.266 \text{ t} \cdot \text{m}$	$P_u= 224.225 \text{ tonf}$	$S_u= 26.022 \text{ tonf}$	
	$M_d= 33.877 \text{ t} \cdot \text{m}$	$P_d= 481.933 \text{ tonf}$	$S_d= 41.952 \text{ tonf}$	
안전율	2.08 ---> O.K		2.15 ---> O.K	

4.3 안전성능평가 결과

4.3.1 안전성능 결과 산정 방법

가. 안전성능 결과 산정

평가대상 터널에 대하여 상태안전성능 및 구조안전성능을 실시한 후 그 결과에 의해 산출된 상태 안전성능지수와 구조 안전성능지수를 비교하여 작은 값을 최종 안전성능 지수로 결정하여 터널의 안전성능 결과를 결정한다.

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

$$\text{안전성능등급} = \text{Min}(\text{상태안전성능등급}, \text{구조안전성능등급})$$

1) 지반 안전성평가

본 터널의 지반은 설계개념의 안전율을 도입하지 않은 경우로서, 터널 상태평가지 지반 상태와 라이닝 변상 등을 기 반영하였고, 안전성능평가를 정량화하여 A, B, C, D, E로 분류하기가 곤란하므로 안전, 불안전 여부만을 평가하였으며, 검토항목에 대해서 모두 안전한 것으로 평가되었다.

〈표 4.13〉 지반 안전성평가 결과

시설물 안전성평가 결과 산정표				
시설물명	해운대터널(부산)			
부재구분	변위 또는 응력		안전성능 여부 (안전, 불안전)	비 고
	해석단면1 (TYPE-V)	해석단면2 (TYPE-VI)		
천단변위 (mm)	-3.671	-14.61	안전	프랑스 공업성 평가기준 허용변위 10~20mm
내공변위 (mm)	-4.493	-1.797	안전	
-shotcrete 응력 (kgf/cm ²)	61.29	53.688	안전	허용휨압축응력 84(kgf/cm ²)
록볼트 축력 (ton)	1.71	2.997	안전	허용축력 8.75(ton)
안전성평가 결과	안전			

2) 콘크리트 라이닝 안전성평가

콘크리트라이닝에 대한 안전성평가는 무근콘크리트인 TYPE-IV,V 구간과, 철근콘크리트인 TYPE-V,VI구간으로 구분하여 수행 되었다. 무근부는 허용응력법, 철근부는 강도설계법으로 검토 되었다. 구조검토 결과, 휨모멘트, 축력, 전단력에서 전반적으로 양호한 안전율을 확보 하고 있으며, 최소안전율은 무근구간에서 전단응력에 대해 1.01로 판정되어 안전성평가는 a 등급으로 판정 되었다.

〈표 4.14〉 콘크리트 라이닝 안전성평가 결과

시설물 안전성평가 결과 산정표				
시설물명		해운대터널(부산방향)		
부재구분		안전율(SF)	평가결과	비 고
TYPE-IV 무근구간	휨응력	1.79	a	허용응력법
	전단응력	1.35	a	허용응력법
TYPE-V 무근구간	휨응력	1.03	a	허용응력법
	전단응력	1.01	a	허용응력법
TYPE-V,VI 철근구간	모멘트	1.54	a	강도설계법
	축력	1.68	a	강도설계법
	전단력	1.61	a	강도설계법
안전성평가 결과		• 최저 안전성평가 결과 =A		

4.3.2 안전성능평가 결과

대상 구조물의 안전성능 평가는 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(성능평가편, 2018. 06, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 의거 상태안전성능 평가 결과와 구조안전성능 평가 결과를 비교하여 낮은 결과를 시설물의 전체 안전성능 결과로 결정하였다.

외관조사에 의한 상태안전성능평가 결과와 구조검토에 의한 구조안전성능평가 결과를 종합하여 검토한 결과, 해운대터널(부산)의 전체 안전성능 평가 결과는 “B”로 평가되었다.

〈표 4.15〉 콘크터널의 안전성능평가 결과산정(부산)

시설물 안전성능평가 결과 산정표				
시설물명	해운대터널(부산방향)			
평가구분	결함지수	평가결과	비 고	
상태안전성능 평가	0.228	b	근거 표번호	
구조안전성능 평가	0.14	a	근거 표번호	
안전성능평가 결과	- 안전성능평가 결과 = B - 안전성능 평가지수(ps) = 0.228			

