

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(결합, 손상, 열화)를 근거로 하여 시설물편의 상태평가 기준에 따라 실시하였다.

본 시설물의 상태안전성능 평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 조사된 상태변화(결합, 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	0	1	2	3	4
		층분리 및 박락	0	1	2	3	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

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

〈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	0	1	2	3	3
		층분리 및 박락	0	1	2	3	5
		재료분리	0	1	3	3	3
		철근노출		2	4	6	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) 문수터널(부산)

가. 라이닝 결함지수 및 상태평가 결과(부산)

〈표 4.4〉 무근콘크리트 라이닝(부산) 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	12~14 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
2	15~17 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
3	18~20 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
4	21~23 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
5	24~26 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
6	27~29 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
7	30~32 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
8	33~35 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
9	36~38 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
10	39~41 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
11	42~44 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
12	45~47 SPAN	4/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	4.0	0.15/b
13	48~50 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
14	51~53 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
15	59~61 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
16	62~64 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
17	65~67 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
18	68~70 SPAN	4/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	4.0	0.15/b
19	71~73 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
20	74~76 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
21	77~79 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b

〈표 4.4〉 무근콘크리트 라이닝(부산) 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		
22	80~82 SPAN	6/c	0/a	0/b	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
23	83~85 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
24	86~88 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
25	89~91 SPAN	4/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	4.0	0.15/b
26	92~94 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
27	95~97 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
28	98~100 SPAN	4/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	4.0	0.15/b
29	101~103 SPAN	4/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	4.0	0.15/b
30	104~106 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
31	107~109 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
32	110~112 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
33	113~115 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
34	116~118 SPAN	6/c	0/a	0/b	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
35	119~121 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
36	122~124 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
37	125~127 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
38	133~135 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
39	136~138 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
40	139~141 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
41	142~144 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
42	145~147 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
43	148~150 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
44	151~153 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
45	154~156 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
46	157~159 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
47	160~162 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
48	163~165 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b

〈표 4.5〉 철근콘크리트 라이닝(부산) 결함지수 및 상태평가 결과

No	Span No	균열	누수	파손 및 손상	재질열화							결함 점수 합계	라이닝 결함지수 (f)
					박리	충분리 박락	백태	재 료 분리	철근 노출	탄산화	염화물		
1	1~3 SPAN	5/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	5.0	0.14/a
2	4~6 SPAN	4/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	4.0	0.11/a
3	7~9 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
4	10~11 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
5	54~56 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	1/b	0/a	0/a	7.0	0.19/b
6	57~58 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.17/b
7	128~130 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	1/b	0/a	0/a	1.0	0.03/a
8	131~132 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
9	166~168 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.08/a
10	169~171 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.17/b

나. 터널 주변상태 결함점수 산정(부산)

〈표 4.6〉 터널 주변상태(부산) 결함점수 산정결과

터널주변	내 용	결함점수	비 고
배수상태	오염됨	1.0	
지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대(영향범위 외)	1.0	
갱문상태	보통인 상태	0.5	
공동구상태	덮개파손 및 오염됨	0.5	
특수조건	해당없음	—	
합 계		3.0	

다. 기본시설 상태평가 결과(부산)

〈표 4.7〉 문수터널(부산) 기본시설 상태평가 결과

구분	균열	누수	파손 및 손상	재질열화							터널주변				결합 점수 합계
				박리	충분리 박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화	염화물	배수 상태	지반 상태	갱문 상태	공동구	
무근 구간	3.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—	—	1.00	1.00	0.50	0.50	6.42
철근 구간	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	1.00	1.00	0.50	0.50	6.20
무근콘크리트 결합지수(F) = $\sum$ 결합점수(6.42) / 34 = 0.189											무근콘크리트 등급 = B				
철근콘크리트 결합지수(F) = $\sum$ 결합점수(6.20) / 43 = 0.144											철근콘크리트 등급 = A				

〈표 4.8〉 문수터널(부산) 기본시설 상태평가 등급

구분	결합지수(F)	상태평가 결과	연장(m)	연장비	환산결합지수 (결합지수×연장비)
무근콘크리트 라이닝	0.189	B	1,270	0.842	0.159
철근콘크리트 라이닝	0.144	A	238	0.158	0.023

결합지수	0.182
상태평가결과	B

라. 부대시설 결합지수 및 상태평가 결과(부산)

부대시설은 피난연락갱 3개소에 대하여 실시하였으며, 결합지수 및 상태평가 결과는 다음과 같다.

〈표 4.9〉 부대시설(부산) 결합지수 산정결과(피난연락갱)

부대시설 현황		균열	누수	파손 및 손상	재질열화							결합 점수 합계	결합 지수
구분	위치				박리	박락 충분리	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화	염화물		
피난연락갱(차량)	56 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
피난연락갱(대인)	93 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	－	－	－	0.0	0.00/a
피난연락갱(차량)	130 SPAN	0/a	0/a	0/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a

마. 부대시설 상태평가 결과(부산)

〈표 4.10〉 부대시설(부산) 상태평가 결과

구분	결합점수합계	결합지수(f)
54 SPAN 피난연락갱(차량)	0.0	0.00
91 SPAN 피난연락갱(대인)	0.0	0.00
128 SPAN 피난연락갱(차량)	0.0	0.00

개별 부대시설 결합지수(fn)	개별 부대시설개수(N)	결합지수(f)	등급	가중치
0.00	3	0.000	A	1.0

바. 전체시설 상태평가 결과(부산)

문수터널(부산)의 상태안전성능 평가 산정결과 결함지수는 0.182로서 상태안전성능 평가 등급은 "b"등급($0.15 \leq x < 0.30$)인 것으로 평가되었다.

〈표 4.11〉 전체시설(부산) 상태평가 결과 산정

구 분	산정결과
① 기본시설 결함지수(F) =	0.182
② 부대시설 결함지수(f) =	0.000
③ 전체시설 결함지수(F) = 기본시설 결함지수(F) × 부대시설 가중치(W)	$0.182 \times 1.00 = 0.182$

〈표 4.12〉 문수터널(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					0.182
상태평가결과					B

범 레	a	b	c	d	e
-----	---	---	---	---	---

2018년 정밀안전진단

Span No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
형식	철근	철근	철근	철근	철근	철근	철근	철근	철근	철근	철근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근
Span No.	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
형식	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근
Span No.	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
형식	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	철근	철근	철근	철근	철근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근
Span No.	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
형식	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근
Span No.	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
형식	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근
Span No.	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132
형식	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	철근	철근	철근	철근	철근
Span No.	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154
형식	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근
Span No.	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171					
형식	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	철근	철근	철근	철근	철근	철근					

2) 문수터널(포항)

가. 라이닝 결함지수 및 상태평가 결과(포항)

〈표 4.13〉 무근콘크리트 라이닝(포항) 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	9~11 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
2	12~14 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/b	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
3	15~17 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
4	18~20 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
5	21~23 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
6	24~26 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
7	27~29 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
8	30~32 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
9	33~35 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
10	36~38 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
11	39~41 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
12	42~44 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
13	45~47 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
14	48~50 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
15	51 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
16	57~59 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
17	60~62 SPAN	11/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	11.0	0.41/c
18	63~65 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
19	66~68 SPAN	9/d	0/a	0/b	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
20	69~71 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
21	72~74 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/b	0/a	0/a	9.0	0.33/c
22	75~77 SPAN	4/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	4.0	0.15/b
23	78~80 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c

〈표 4.13〉 무근콘크리트 라이닝(포항) 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		
24	81~83 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
25	84~86 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
26	87~89 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
27	90~92 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
28	93~95 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
29	96~98 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
30	99~101 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
31	102~104 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
32	105~107 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
33	108~110 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
34	111~113 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
35	114~116 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
36	117~119 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
37	120~122 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
38	123~125 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
39	131~133 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
40	134~136 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
41	137~139 SPAN	9/d	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	9.0	0.33/c
42	140~142 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
43	143~145 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
44	146~148 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
45	149~151 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
46	152~154 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
47	155~157 SPAN	4/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	4.0	0.15/b
48	158~160 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a
49	161~163 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
50	164~166 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
51	167~169 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.22/b
52	170~172 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
53	173 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.11/a

〈표 4.14〉 철근콘크리트 라이닝(포항) 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	철근 노출	탄산화	염화물		
1	1~3 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.08/a
2	4~6 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.08/a
3	7~8 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.17/b
4	52~54 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	3.0	0.08/a
5	55~56 SPAN	12/e	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	12.0	0.33/c
6	126~128 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.17/b
7	129~130 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0.00/a
8	174~176 SPAN	4/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	4.0	0.11/a
9	177~179 SPAN	4/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	4.0	0.11/a
10	180~182 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.17/b
11	183 SPAN	6/c	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	6.0	0.17/b

나. 터널 주변상태 결함점수 산정(포항)

〈표 4.15〉 터널 주변상태(포항) 결함점수 산정결과

터널주변	내 용	결함점수	비 고
배수상태	오염됨	1.0	
지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대(영향범위 외)	1.0	
갱문상태	보통인 상태	0.5	
공동구상태	덮개파손 및 오염됨	0.5	
특수조건	해당없음	—	
합 계		3.0	

다. 기본시설 상태평가 결과(포항)

〈표 4.16〉 문수터널(포항) 기본시설 상태평가 결과

구분	균열	누수	파손 및 손상	재질열화							터널주변				결함 점수 합계
				박리	충분리 박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화	염화물	배수 상태	지반 상태	강문 상태	공동구	
무근콘크리트 구간	5.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—	—	1.00	1.00	0.50	0.50	8.91
철근콘크리트 구간	4.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.50	0.50	7.82
무근콘크리트 결함지수(F) = $\sum$ 결함점수(8.91) / 34 = 0.262											무근콘크리트 등급 = B				
철근콘크리트 결함지수(F) = $\sum$ 결함점수(7.82) / 43 = 0.182											철근콘크리트 등급 = B				

〈표 4.17〉 문수터널(포항) 기본시설 상태평가 등급

구분	결함지수(F)	상태평가 결과	연장(m)	연장비	환산결함지수 (결함지수×연장비)
무근콘크리트 라이닝	0.262	B	1,390	0.869	0.228
철근콘크리트 라이닝	0.182	B	209	0.131	0.024

결함지수	0.252
상태평가결과	B

라. 부대시설 결함지수 및 상태평가 결과(포항)

부대시설은 피난연락갱 3개소에 대하여 실시하였으며, 결함지수 및 상태평가 결과는 다음과 같다.

〈표 4.18〉 부대시설(포항) 결함지수 산정결과(피난연락갱)

부대시설 현황		균열	누수	파손 및 손상	재질열화							결함 점수 합계	결함 지수
구분	위치				박리	박락 충분리	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화	염화물		
피난연락갱(차량)	54 SPAN	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0/a
피난연락갱(대인)	91 SPAN	3/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	－	－	－	3.0	0.08/a
피난연락갱(차량)	128 SPAN	0/a	0/a	0/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0.0	0/a

마. 부대시설 상태평가 결과(포항)

〈표 4.19〉 부대시설(포항) 상태평가 결과

구분	결함점수합계	결함지수(f)
54 SPAN 피난연락갱(차량)	0.0	0.00
91 SPAN 피난연락갱(대인)	3.0	0.08
128 SPAN 피난연락갱(차량)	0.0	0.00

개별 부대시설 결함지수(fn)	개별 부대시설개수(N)	결함지수(f)	등급	가중치
0.08	3	0.027	A	1.0

바. 전체시설 상태평가 결과(포항)

문수터널(포항)의 상태안전성능 평가 산정결과 결합지수는 0.252로서 상태안전성능 평가 등급은 "b"등급($0.15 \leq x < 0.30$)인 것으로 평가되었다.

〈표 4.20〉 전체시설(포항) 상태평가 결과 산정

구 분	산정결과
① 기본시설 결합지수(F) =	0.252
② 부대시설 결합지수(f) =	0.027
③ 전체시설 결합지수(F) = 기본시설 결합지수(F) × 부대시설 가중치(W)	$0.252 \times 1.00 = 0.252$

〈표 4.21〉 문수터널(포항) 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					0.252
상태평가결과					B

범 례	a	b	c	d	e
-----	---	---	---	---	---

2018년 정밀안전진단

Span No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
형식	철근	철근	철근	철근	철근	철근	철근	철근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근
Span No.	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
형식	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근
Span No.	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
형식	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	철근	철근	철근	철근	철근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근
Span No.	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
형식	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근
Span No.	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
형식	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근
Span No.	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132
형식	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	철근	철근	철근	철근	철근	무근	무근
Span No.	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154
형식	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근
Span No.	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176
형식	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	무근	철근	철근	철근
Span No.	177	178	179	180	181	182	183															
형식	철근	철근	철근	철근	철근	철근	철근															

4.2 구조안전성능 평가

4.2.1 터널개요

가. 터널현황

문수터널(부산, 포항)은 터널시점 울산광역시 울주군 청량면, 터널종점 울산광역시 울주군 범서읍(부산울산선 부산<44.45km>, 포항<44.47km>지점)에 위치하고 있고, 2008년도 12월에 준공되어 약 10년 정도의 공용기간이 경과한 상태이며, 위치상으로 영취산(352m)의 동쪽 자락을 남북으로 가로지르게 시공된 편도 3차로 터널이다.

본 터널의 제원은 총연장 536.0m(부산), 1,599.0m(포항)이며, 폭 10.8m, 높이 8.2m이고, 종단구배는 0.500%로 시공되었으며, 터널 본선은 NATM으로 시공된 굴착터널로서 구분되며 갱문형식은 벨마우스식(마제형)으로 시공되어 있고, 환기방식은 강제환기(제트펜) 방식이다.

본 과업은 준공도서(부산~울산간 고속도로 건설공사, 터널해석보고, 제9공구 두현~굴화(준공분), 2008.12)를 활용하여 안정성평가를 실시하였다.

나. 설계 당시 구조계산서 활용 적정성 검토

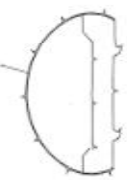
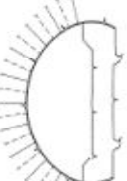
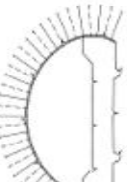
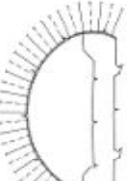
본 터널은 공용중인 시설물로서 설계 당시와 현재의 설계기준의 변경, 공용중 성능개선(보강) 등을 통한 구조계의 변경 등을 검토하여 준공도서 작성 당시의 구조계산서 활용 여부를 판단하고자 한다.

〈표 4.22〉 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=24.8~31.8MPa	• 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.

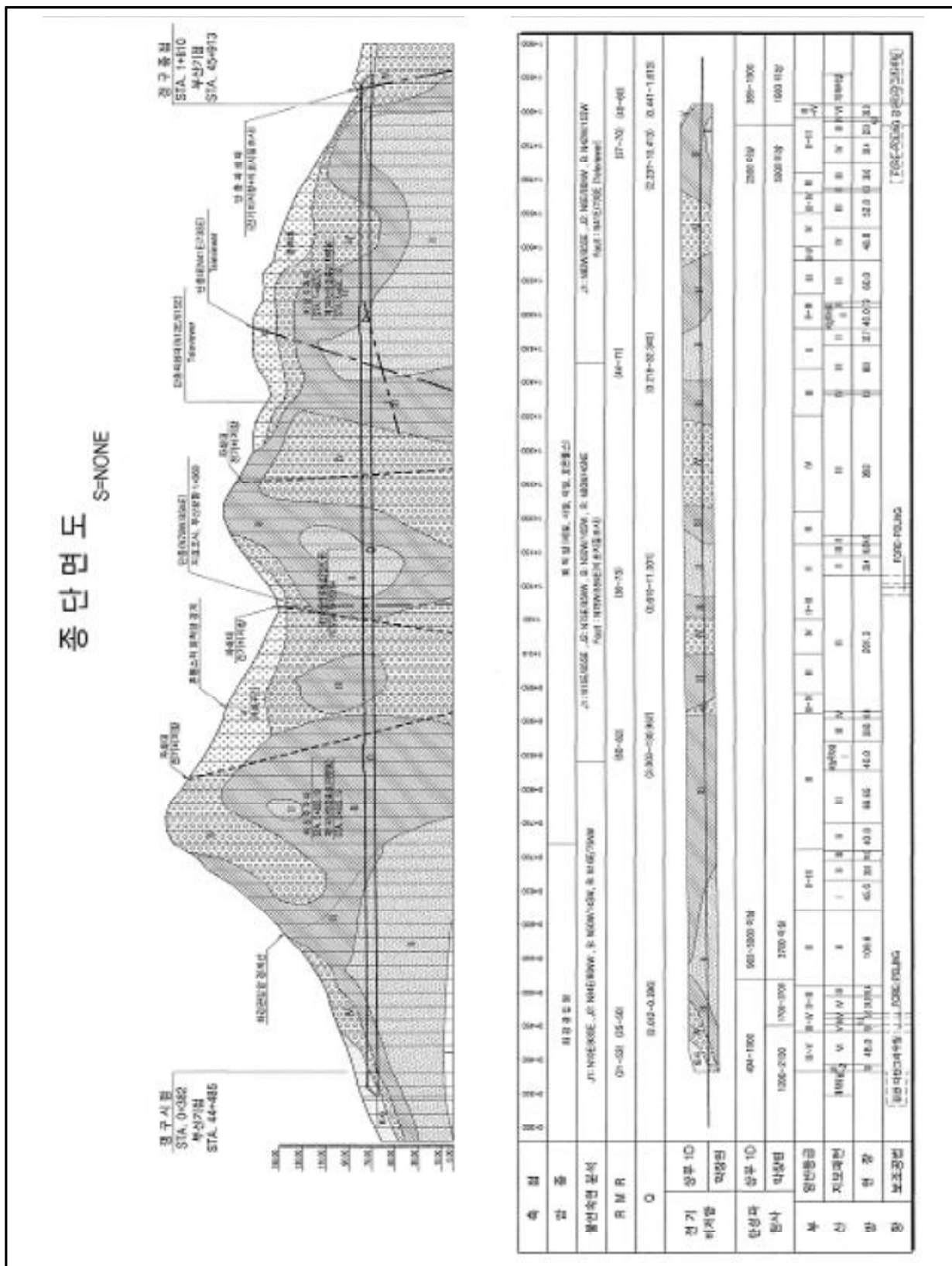
4.2.2 지반해석(지보패턴 현황)

구 분		표 준 단 면			
		TYPE-I	TYPE-II	TYPE-III	TYPE-IV
표 준 단 면					
지 반 분 류	지 반 등 급	I 81 이상 40 이상	II 80 ~ 61 10 ~ 40	III 60 ~ 41 1 ~ 10	IV 40 ~ 21 0.1 ~ 1
	Q	상 반 3.0 하 반 4.0	2.0 4.0	2.0 3.0	1.2 2.4
굴 진 장	형 식	강철유보강	강철유보강	강철유보강	강철유보강
	숫 크 리 트	50 - 50	80 - 80	80 40 120	80 80 160
지 보	소 계(mm)	4.0	4.0	4.0	5.0
	길 이(m)	랜덤	2.0	2.0	1.2
목 볼 트	간격	랜덤	2.0	1.5	1.5
	방향	랜덤	2.0	1.5	1.5
강 지 보 제 (m)	구 격	-	-	-	LG-70X20X30
	간 격	-	-	-	1.2
콘크리트라이닝	형 식	무근	무근	무근	무근
	두께	350	350	350	350
보 조 공 법		-	-	-	필요시 Fore-Poling
적 용 구 간	부 산 방 향	-	200.000M	580.000M	440.000M
	올 산 방 향	-	240.000M	510.000M	430.000M
비 고					

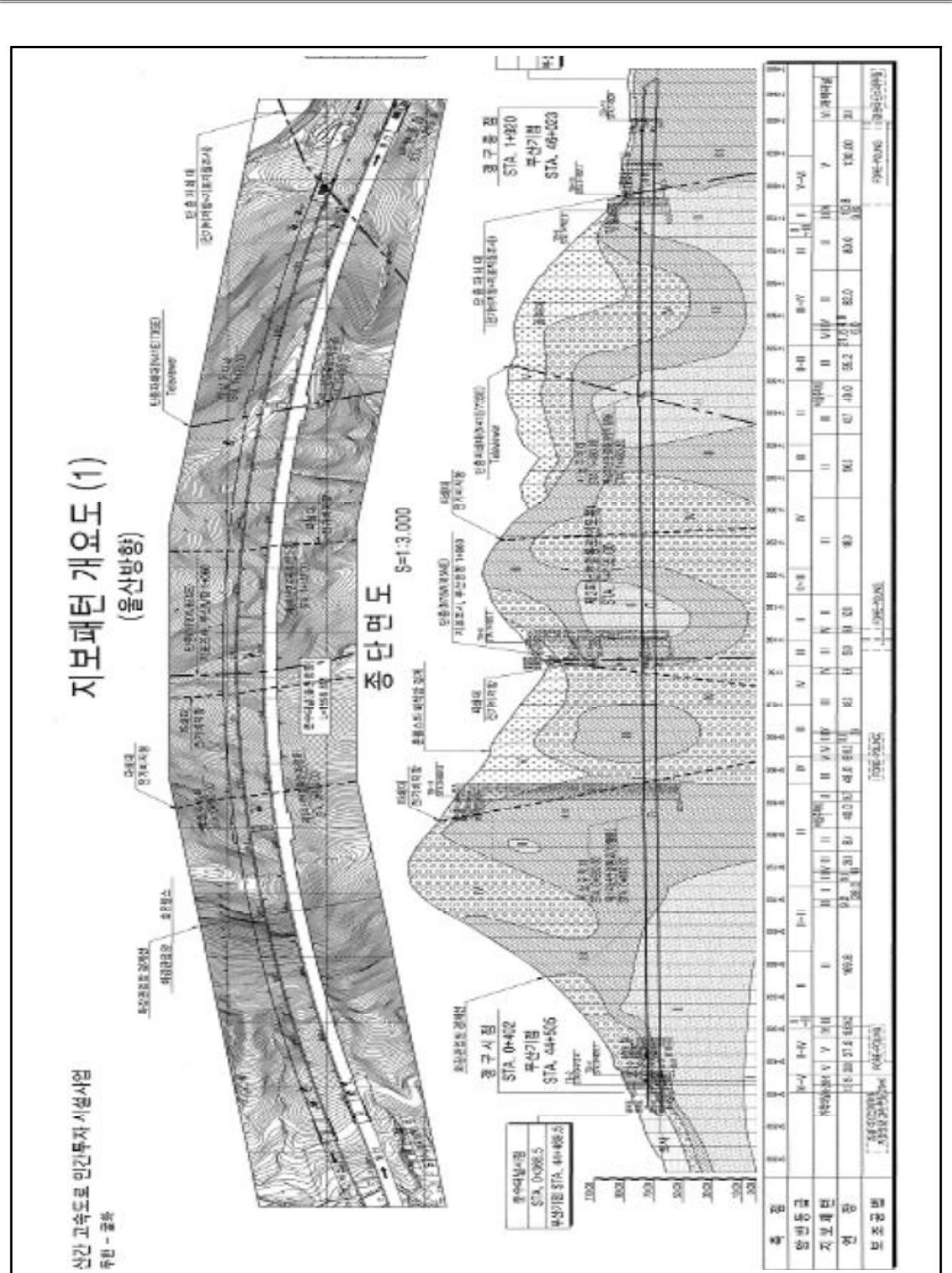
〈그림 4.1〉 문수터널(부산, 포항) 지보패턴 개요도 ①

구 분		표 준 단 면			
		TYPE-V	TYPE-VI	TYPE-VI-1	TYPE-VI-2
표 준 단 면					
지 반 분 류	지 반 등 급	V	VI	리 평 암	토 사
	RMR	20 이하	경 구 부	경 구 부	경 구 부
굴 진 장	Q	0.01 - 0.1	-	풍 화 암 구 간	토 사 구 간
	상 반	1.0	0.8	0.8	0.8
	하 반	1.0	0.8	0.8	0.8
지 보	형 식	감 성 유 보 강	감 성 유 보 강	감 성 유 보 강	감 성 유 보 강
	1차 두께(mm)	80	80	80	80
	2차 두께(mm)	80	80	80	80
	소 계(mm)	160	160	160	160
재	길 이(m)	5.0	5.0	6.0 중벽 4.0	6.0
	간 격	1.0	0.8	0.8	0.8
관 크리 트 라이 닝	중 방 향	1.2	1.0	1.0	1.0
	평 방 향	LG-95X22X32	H-150X150X7X10	H-150X50X7X10	H-150X50X7X10
관 크리 트 라이 닝	구 격	1.0	0.8	0.8	0.8
	간 격	무 근	철 근	철 근	철 근
보 조 공 법	형 식	무 근	철 근	철 근	철 근
	두께	400	400	400	400
보 조 공 법		Fore-Poling	감 관 다 단 그 리 우 링	감 관 다 단 그 리 우 링	감 관 다 단 그 리 우 링
적 용 구 간	부 산 방 향	50.000M	20.000M	48.000M	10.000M
	울 산 방 향	135.000M	20.000M	15.000M	13.000M
비 고		보 조 공 법 적용 및 경 구 부 27m 구간, 폐기 암반 정공로 선 후 20m 구간, 철근 보강			

〈그림 4.2〉 문수터널(부산, 포항) 지보패턴 개요도 ②



〈그림 4.3〉 문수터널(부산) 지보패턴 적용 현황



〈그림 4.4〉 문수터널(포항) 지보패턴 적용 현황

4.2.3 해석조건

1) 해석위치선정

① 터널 해석시 다음을 고려하여 위치를 선정하였다.

- 지반조건이 불리한 곳
- 중요 시설물이 위치한 곳
- 대심도로로서 응력방해력이 매우 큰 곳
- 갱구부 등 지형상 불리한 곳 등

② 해석위치

〈표 4.23〉 문수터널(부산,포항) 해석위치

구 분 (해석위치)		지보타입 II (STA.1+450)	지보타입 III (STA.0+980)	지보타입 IV (STA.1+630)	지보타입 V (STA.0+440)
3차원 해석		M-C	M-C	M-C	M-C
2차원 해석	연속체	M-C H-P D-P	M-C H-P D-P	M-C D-P S-S	M-C D-P U-J
	퇴적암	이방성	이방성	이방성	—
	불연속	B-B	B-B	B-B	—
기타		Key Block	Key Block	Key Block	—

여기서 ;

M-C : Mohr-Coulomb Model

H-P : Hoek & Brown Model

D-P : Drucker-Prager Model

U-J : Ubiquitous Joint Model

B-B : Barton-Bandis Model

4.2.4 안전성능 판단기준

1) 변위

① 천단변위 - 프랑스 공업성의 관리기준

토 피(m)	천단 최대허용변위량(cm)	
	경암지반	소성지반
10 ~ 50	1 ~ 2	2 ~ 5
50 ~ 100	2 ~ 6	10 ~ 20
100이상	6 ~ 12	20 ~ 40

② 내공변위 - 일본의 비도건설 관리기준

관리기준		주의레벨 I		주의레벨 II
		내공변위	변위속도	내공변위
경암지반		2~3 cm	5mm/day가 3일 계속	3~5 cm
토사계 지 반	사질토	2~3 cm	5mm/day가 3일 계속	3~5 cm
	점성토	3~5 cm	10mm/day가 3일 계속	5~7 cm
팽창성 지반		10 cm	30mm/day가 3일 계속	20~30 cm
대 응 책		- 계측결과, 현장 상황을 종합적으로 판단하고 대책을 결정함. - 계측빈도를 증가하고 주의해서 시공.		- 시공방법 변경. - 보조공법 추가. - 지보재 추가. - 기타 보강대책 수립.

주) “주의레벨 I”의 내공변위를 기준으로 함.

2) 지보재 응력

① 숏크리트 허용응력

사용재료	설계기준강도 (kg/cm ²)	허용응력(kg/cm ²)	
숏크리트	$f_{ck} = 210$	허용압축응력	$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 84.0$
		허용인장응력	$f_{ta} = 0.13 \sqrt{f_{ck}} = 1.88$
		허용전단응력	$\tau_a = 0.08 \sqrt{f_{ck}} = 1.16$

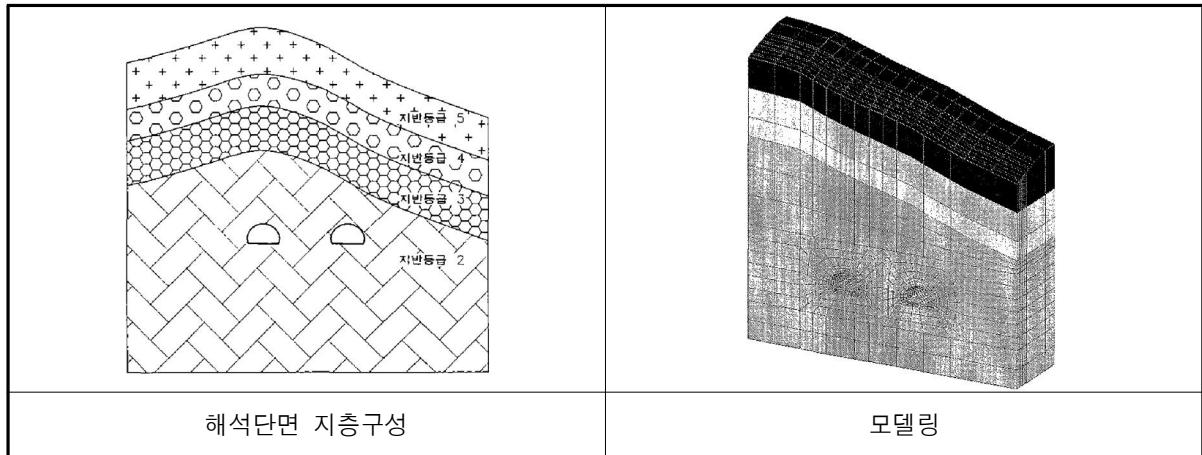
② 록볼트 허용축력

구 분		록볼트(SD35)		
		단면적(m ²)	허용응력(MPa)	허용축력(kN/EA)
허용축력	$\phi = 25.4\text{mm}$	0.0004909	175	88.67

4.2.5 안전성 검토

1) 단면(STA. 1+450, TYPE-II)

① 해석단면의 모델링



〈그림 4.5〉 해석단면 지층구성 및 모델링(STA. 1+450, TYPE-II)

② 지보패턴과 지반특성치

- 지보패턴

구 분			해 석 단 면
굴착공법	상·하반 분할굴착		
지보패턴	굴진장 (상반/하반)	2.0/4.0	
	쉴크리트 두께	8 cm	
	록볼트 길이, 간격	L=4.0m 종방향 2.0 횡방향 2.0	

- 지반특성치

지반등급	단위중량 (t/m³)	점착력 (t/m²)	내부마찰각 (deg)	포아손비	변형계수 (t/m²)
2	2.6	100	43	0.20	1,000,000
3	2.5	80	40	0.24	500,000
4	2.3	50	35	0.27	200,000
5	2.0	10	33	0.30	60,000

③ 해석결과 및 분석

- 해석결과

검토 항목	3차원 해석	2차원 연속체 해석				퇴적암 고려한 해석	2차원 불연속체 해석	키블릭 안정성 해석	검토 결과
	M/C (최대값)	M/C (최대값)	H/B (최대값)	D/P (최대값)	이방성 (최대값)		B/B (최대값)		
좌측 천단변위 (mm)	2.79	3.04	3.03	3.15	5.96		8.31	췌기 파괴 가능성 없음	안정
우측 천단변위 (mm)	2.64	2.76	2.75	2.86	5.14		2.16		안정
좌측 내공변위 (mm)	4.08	6.50	6.44	7.56	7.74		12.50		안정
우측 내공변위 (mm)	3.91	6.71	6.65	7.57	9.05		8.89		안정
힘압축 응력 (kg/cm ²)	57.0	66.0	47.6	80.7	77.6		52.8		안정
록볼트 축력 (ton)	2.22	1.27	1.26	3.99	1.99		8.20		안정

- 변위량

- 해석결과, 천단부의 최대 변위는 - 8.31mm로 나타났으며, 측벽부의 최대 변위는 - 12.50mm로 나타났다. 이는 터널 주변에서 발생하는 변위량이 미소하고 최종단계에서 수렴하는 경향을 보이므로 터널의 안정성에는 거의 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

- 변위 결과

구 분	천단변위	내공변위	비 고
최대 변위 (mm)	-8.31	-12.50	

- 지보재 응력

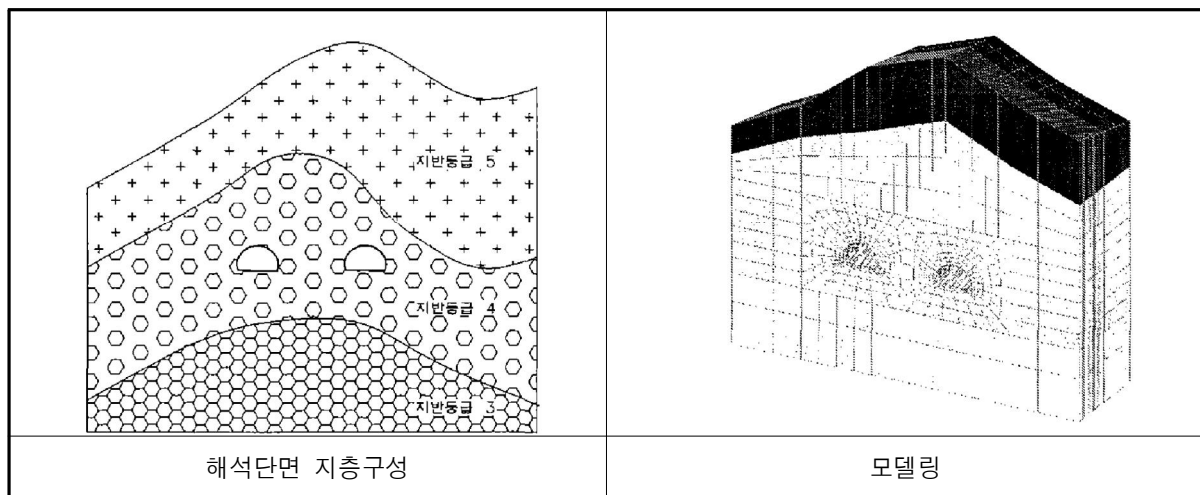
- NATM에서 숏크리트는 록볼트와 함께 주지보재로 작용하며 굴착면에 밀착되어 그 자체로서 응력을 수용하면서 원지반을 삼축응력상태로 구속하여 지반의 전단강도를 높이는 작용을 한다. 해석결과, 숏크리트의 최대 휨압축응력은 80.7kgf/cm^2 로 나타났고, 최대 록볼트 축력은 8.20ton 발생하였으며, 이는 허용응력 이내로서 터널 및 지보재의 안정성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

- 응력 검토결과

구 분	숏크리트 휨응력(kgf/cm^2)		록볼트 축력(ton)		비 고
	발생응력	허용응력	최대축력	허용축력	
지보재 응력	80.7	84.0	8.20	8.75	OK

2) 단면(STA. 1+630, TYPE-IV)

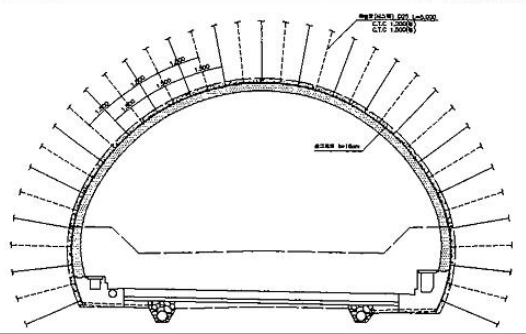
① 해석단면의 모델링



<그림 4.6> 해석단면 지층구성 및 모델링(STA. 1+630, TYPE-IV)

② 지보패턴과 지반특성치

- 지보패턴

구 분			해 석 단 면
굴착공법	상 · 하반 분할굴착		
지보패턴	굴진장 (상반/하반)	1.2/2.4	
	쉴크리트 두께	16 cm	
	록볼트 길이, 간격	L=5.0m 종방향 1.2 횡방향 1.5	

- 지반특성치

지반등급	단위중량 (t/m³)	점착력 (t/m²)	내부마찰각 (deg)	포아손비	변형계수 (t/m²)
3	2.5	80	40	0.24	500,000
4	2.3	50	35	0.27	200,000
5	2.0	10	33	0.30	60,000

③ 해석결과 및 분석

- 해석결과

검토 항목	3차원 해석	2차원 연속체 해석			퇴적암 고려한 해석	2차원 불 연속체 해석	키블릭 안정성 해석	검 토 결과
	M/C (최대값)	M/C (최대값)	D/P (최대값)	S/S (최대값)	이방성 (최대값)	B/B (최대값)		
좌측 천단변위 (mm)	6.63	4.19	4.30	3.72	5.29	6.97	췌기 파괴 가능성 없음	안정
우측 천단변위 (mm)	7.01	5.24	5.45	4.55	9.23	5.04		안정
좌측 내공변위 (mm)	10.03	6.44	7.38	4.27	11.37	8.73		안정
우측 내공변위 (mm)	9.33	4.88	6.68	3.00	8.68	4.90		안정
휨압축 응력 (kg/cm²)	63.0	73.1	76.1	56.0	82.8	6.33		안정
록볼트 축력 (ton)	5.3	2.78	5.51	2.18	4.58	6.08		안정

- 변위량

- 해석결과, 천단부의 최대 변위는 -9.23mm로 나타났으며, 측벽부의 최대 변위는 -11.37mm로 나타났다. 이는 터널 주변에서 발생하는 변위량이 미소하고 최종단계에서 수렴하는 경향을 보이므로 터널의 안정성에는 거의 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

- 변위 결과

구 분	천단변위	내공변위	비 고
최대 변위(mm)	-9.23	-11.37	

- 지보재 응력

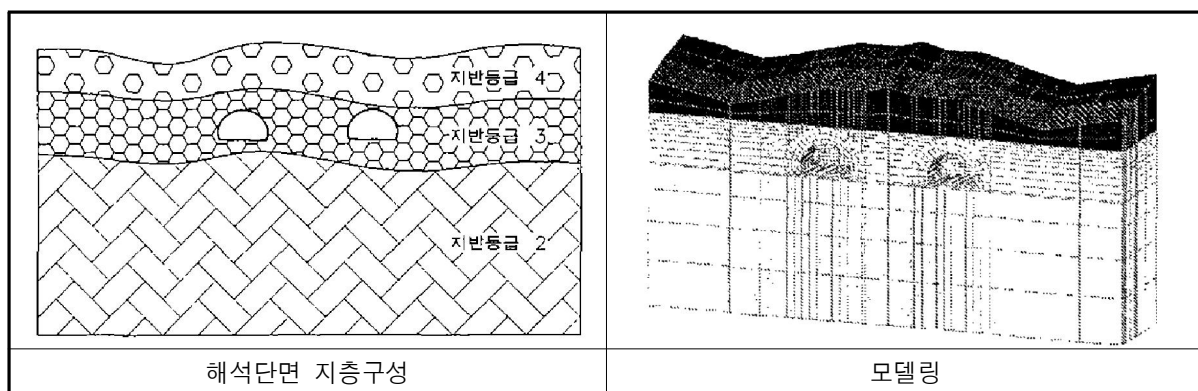
- NATM에서 숏크리트는 록볼트와 함께 주지보재로 작용하며 굴착면에 밀착되어 그 자체로서 응력을 수용하면서 원지반을 삼축응력상태로 구속하여 지반의 전단강도를 높이는 작용을 한다. 해석결과, 숏크리트의 최대 휨압축응력은 82.8kgf/cm²로 나타났고, 최대 록볼트 축력은 6.08ton 발생하였으며, 이는 허용응력 이내로서 터널 및 지보재의 안정성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

- 응력 검토결과

구 분	숏크리트 휨응력(kgf/cm ²)		록볼트 축력(ton)		비 고
	발생응력	허용응력	최대축력	허용축력	
지보재 응력	82.8	84.0	6.08	8.75	OK

3) 단면(STA. 0+450, TYPE-V)

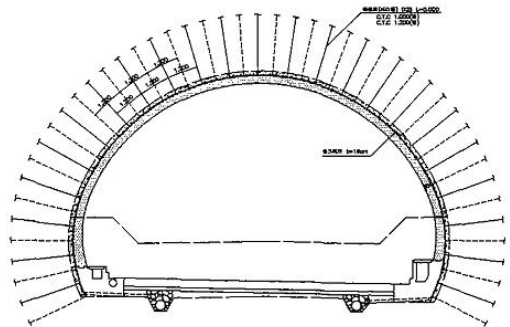
① 해석단면의 모델링



〈그림 4.7〉 해석단면 지층구성 및 모델링(STA. 0+450, TYPE-V)

② 지보패턴과 지반특성치

- 지보패턴

구 분			해 석 단 면
굴착공법	상 · 하반 분할굴착		
지보패턴	굴진장 (상반/하반)	1.0/1.0	
	쉴크리트 두께	16 cm	
	록볼트 길이, 간격	L=5.0m 종방향 1.0 횡방향 1.2	

- 지반특성치

지반등급	단위중량 (t/m³)	점착력 (t/m²)	내부마찰각 (deg)	포아손비	변형계수 (t/m²)
2	2.6	100	43	0.20	1,000,000
3	2.5	80	40	0.24	500,000
4	2.3	50	35	0.27	200,000

③ 해석결과 및 분석

- 해석결과

검토 항목	3차원 해석	2차원 연속체 해석			검토 결과
	M/C (최대값)	M/C (최대값)	D/P (최대값)	U/J (최대값)	
좌측천단변위 (mm)	0.97	3.22	3.19	3.25	안정
우측천단변위 (mm)	0.97	2.59	2.45	2.72	안정
좌측내공변위 (mm)	1.03	5.08	5.39	4.37	안정
우측내공변위 (mm)	1.03	3.23	3.30	2.52	안정
힘압축응력 (kg/cm²)	23.9	34.0	37.9	51.8	안정
록볼트축력 (ton)	0.84	3.00	3.05	5.90	안정

- 변위량

- 해석결과, 천단부의 최대 변위는 -3.22mm로 나타났으며, 측벽부의 최대 변위는 -5.39mm로 나타났다. 이는 터널 주변에서 발생하는 변위량이 미소하고 최종단계에서 수렴하는 경향을 보이므로 터널의 안정성에는 거의 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

- 변위 결과

구 분	천단변위	내공변위	비 고
최대 변위(mm)	-3.22	-5.39	

- 지보재 응력

- NATM에서 숏크리트는 록볼트와 함께 주지보재로 작용하며 굴착면에 밀착되어 그 자체로서 응력을 수용하면서 원지반을 삼축응력상태로 구속하여 지반의 전단강도를 높이는 작용을 한다. 해석결과, 숏크리트의 최대 휨압축응력은 51.8kgf/cm²로 나타났고, 최대 록볼트 축력은 5.90ton 발생하였으며, 이는 허용응력 이내로서 터널 및 지보재의 안정성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

- 응력 검토결과

구 분	숏크리트 휨응력(kgf/cm ²)		록볼트 축력(ton)		비 고
	발생응력	허용응력	최대축력	허용축력	
지보재 응력	51.8	84.0	5.90	8.75	OK

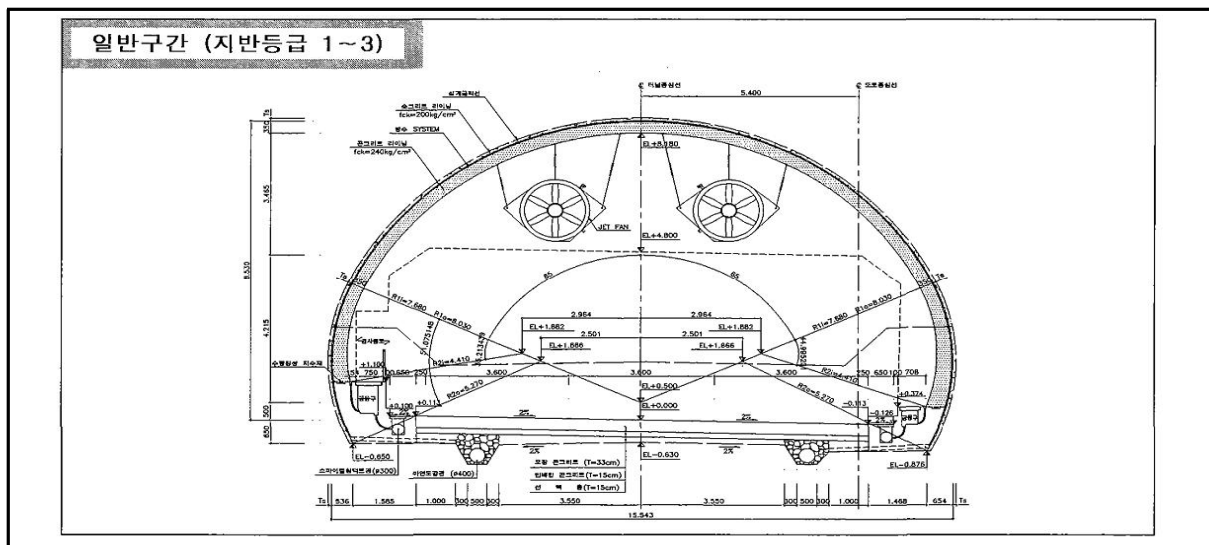
4.2.6 콘크리트 라이닝 해석

1) 일반구간 지반등급 1~3

- 해석조건

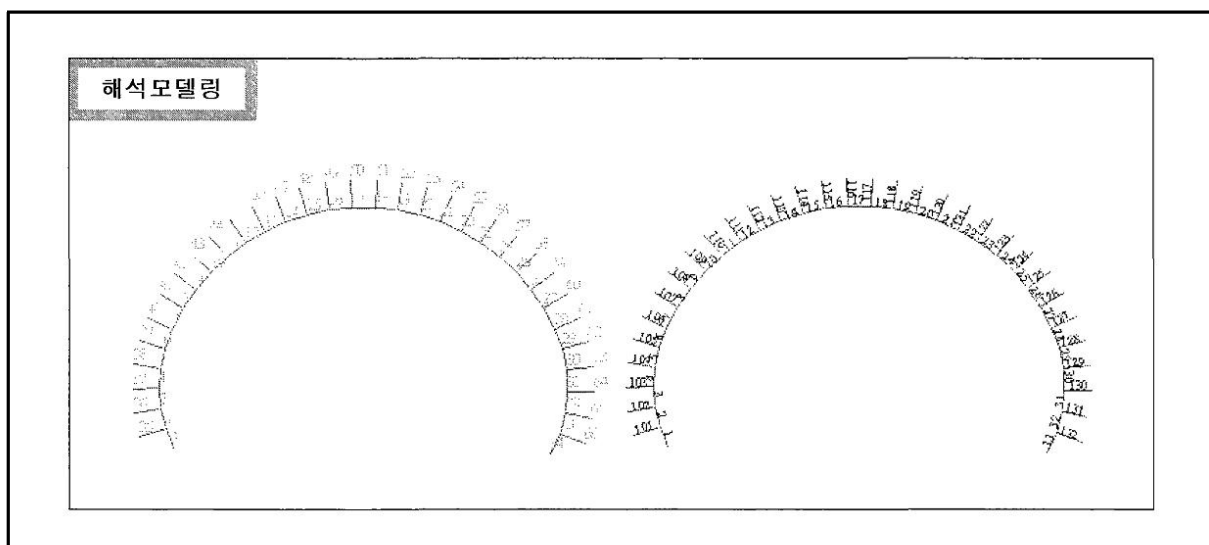
: 지반등급 1~3구간에 계획되어 있는 콘크리트라이닝의 구조검토를 위하여 가장 불리한 지반등급 3을 적용하였으며, 이완하중은 발파에 의한 이완하중고를 적용하였다. (해석 위치는 STA. 0+800)

- 해석단면



〈그림 4.8〉 콘크리트 라이닝 해석단면(지반등급 1~3)

- 해석모델링



〈그림 4.9〉 콘크리트 라이닝 해석모델링(지반등급 1~3)

② 검토방법

- 검토개요

: 무근콘크리트에 대한 구조해석을 수행하여 허용응력 이내의 경우 허용응력설계법 적용.

- 사용재료 및 허용응력

사용재료	설계기준강도 (kgf/cm ²)	허용응력 (kgf/cm ²)	
무근콘크리트	$f_{ck} = 240$	허용압축응력	$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 960$
		허용인장응력	$f_{ta} = 0.42 \sqrt{f_{ck}} = 65$
		허용전단응력	$\tau_a = 0.25 \sqrt{f_{ck}} = 38.73$

- 수치해석 결과가 허용응력을 초과하는 경우 강도설계법을 적용하여 철근보강.

- 단면특성

구분	단면두께 H(m)	단면2차모멘트 I(m ⁴)	탄성계수 E(tonf/m ²)	자중 W(tonf/m)	적용부재	비고
1	0.350	0.003573	8.2E5	2.500	콘크리트 라이닝	1~33
2	1.000	0.083333	96,725	0.000	스프링부재	101
3	1.000	0.083333	64,483	0.000	스프링부재	102~105
4	1.000	0.083333	68,386	0.000	스프링부재	106
5	1.000	0.083333	72,204	0.000	스프링부재	107~126
6	1.000	0.083333	70,083	0.000	스프링부재	127
7	1.000	0.083333	67,962	0.000	스프링부재	128~131
8	1.000	0.083333	101,985	0.000	스프링부재	132

- 작용하중

·자중(CASE-1)

: 단위중량(γ) = 2.5 tonf/m³

: E(탄성계수) = $15,000\sqrt{f_{ck}}$ = $15,000\sqrt{240}$ = 2.35E5(kgf/m²)

: 구조체의 콘크리트 라이닝의 자중은 프로그램에서 자동적으로 계산된다.

- 지반이완하중

: 이완하중고 $H = 0.5m(\gamma=2.5 \text{ tonf/m}^3, \nu=0.24)$

: 발파에 의한 수직이완하중(CASE-2), $P_v = 0.5m \times 2.5 = 1.250 \text{ tonf/m}^2$

: 발파에 의한 수평이완하중(CASE-3), $P_h = 0.5m \times 1.25 = 0.625 \text{ tonf/m}^2$

: 지반탄성계수 $E = 500,000 \text{ tonf/m}^2$

- 하중조합

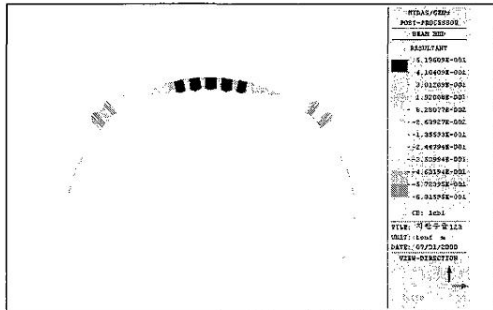
: $1.0 \times \text{CASE-1} + 1.0 \times \text{CASE-2} \Rightarrow$ 허용응력설계법

- 해석결과

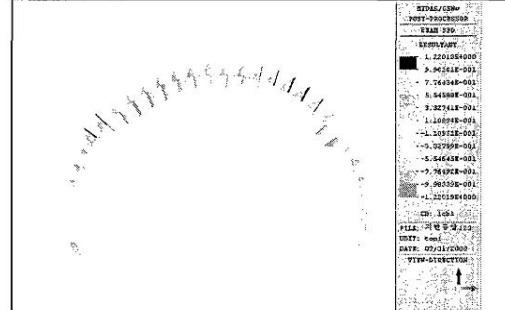
검토위치		하중조합	부재번호	해석단면력		
				모멘트 (tonf · m)	축력 (tonf)	전단력 (tonf)
라이닝	천정부	1	17	1.105	14.095	0.889
	측벽부	1	11	0.958	17.142	0.713
			23	0.957	17.142	0.713
	측벽하부	1	1	0.258	29.687	0.458

③ 단면검토

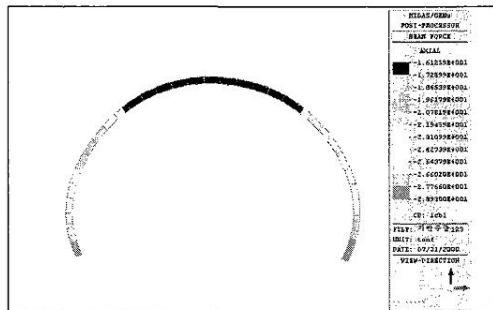
- 단면력도



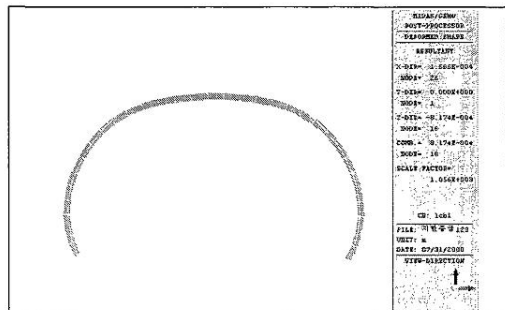
모멘트도(tonf·m)



전단력도(tonf)



축력도(tonf)



변위도(m)

- 응력검토

· 천정부

$$f = (P/A) + (M/Z)$$

$$= (14.095/0.35) + (1.105/0.20)$$

$$\text{최대응력 } f_{\max} = 95.521 \text{ tonf/m}^2$$

$$< f_{ca} \text{ ----- O.K}$$

: 안전율 = 10.05

· 측벽부

$$f = (P/A) + (M/Z)$$

$$= (17.142/0.35) + (0.958/0.02)$$

$$\text{최대응력 } f_{\max} = 96.877 \text{ tonf/m}^2$$

$$< f_{ca} \text{ ----- O.K}$$

: 안전율 = 9.91

· 측벽하부

$$f = (P/A) + (M/Z)$$

$$= (29.687/0.35) + (0.258/0.020)$$

$$\text{최대응력 } f_{\max} = 97.720 \text{ tonf/m}^2$$

$$< f_{ca} \text{ ----- O.K}$$

: 안전율 = 9.82

· 전단응력검토

$$v = V_{\max} / A$$

$$= 0.889 / 0.35$$

$$= 2.540 \text{ tonf/m}^2$$

$$< v_a \text{ ----- O.K}$$

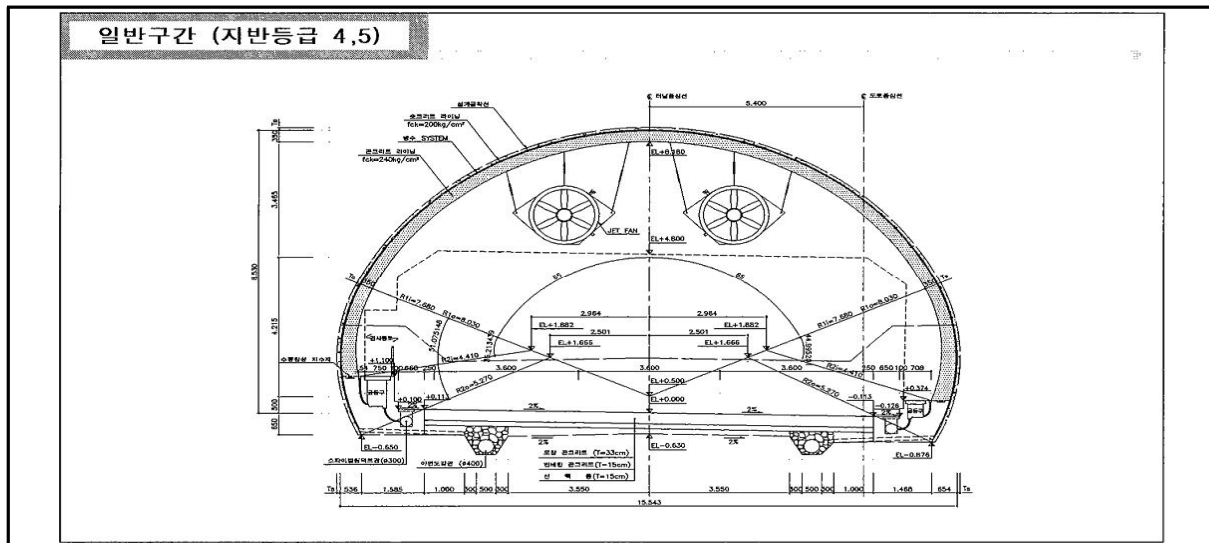
: 안전율 = 15.25

2) 일반구간 지반등급 4,5

- 해석조건

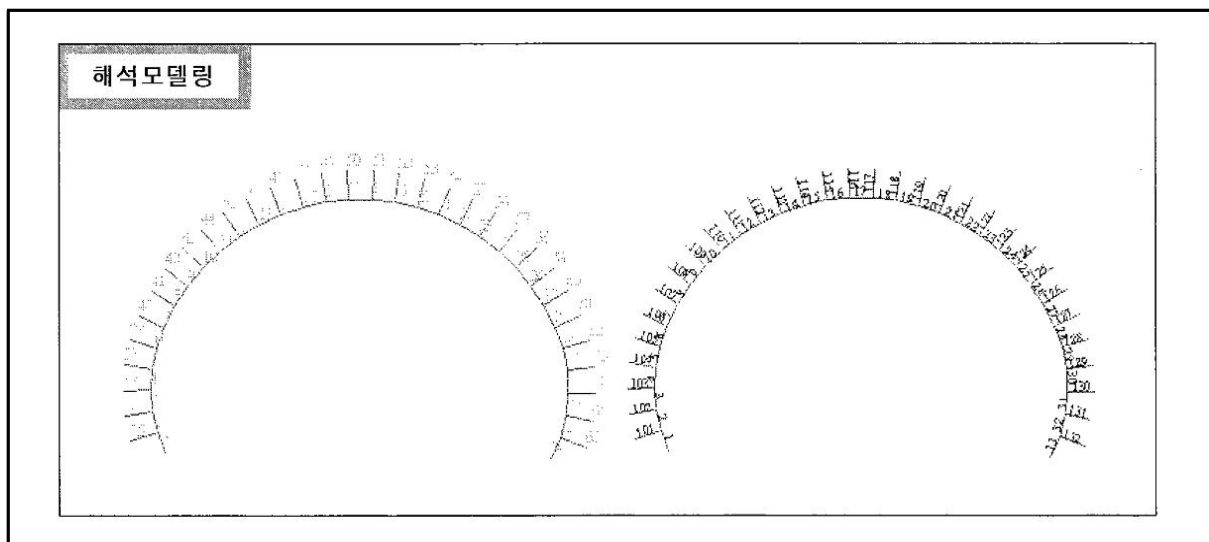
: 지반등급 4,5에 계획되어 있는 콘크리트 라이닝의 구조검토를 위하여 가장 불리한 지반등급 5를 적용하였으며, 이완하중고는 수치해석 결과를 바탕으로 산정하였다. (해석 위치는 STA. 1+280)

- 해석단면



〈그림 4.10〉 콘크리트 라이닝 해석단면(지반등급 4,5)

- 해석모델링



〈그림 4.11〉 콘크리트 라이닝 해석모델링(지반등급 4,5)

② 검토방법

- 검토개요

: 무근콘크리트에 대한 구조해석을 수행하여 허용응력 이내의 경우 허용응력설계법 적용.

- 사용재료 및 허용응력

사용재료	설계기준강도 (kgf/cm ²)	허용응력 (kgf/cm ²)	
무근콘크리트	$f_{ck} = 240$	허용압축응력	$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 960$
		허용인장응력	$f_{ta} = 0.42 \sqrt{f_{ck}} = 65$
		허용전단응력	$\tau_a = 0.25 \sqrt{f_{ck}} = 38.73$

- 수치해석 결과가 허용응력을 초과하는 경우 강도설계법을 적용하여 철근보강.

- 단면특성

구분	단면두께 H(m)	단면2차모멘트 I(m ⁴)	탄성계수 E(tonf/m ²)	자중 W(tonf/m)	적용부재	비고
1	0.350	0.003573	2.35E6	2.500	콘크리트 라이닝	1~33
2	1.000	0.083333	11,607	0.000	스프링부재	101
3	1.000	0.083333	7,738	0.000	스프링부재	102~105
4	1.000	0.083333	8,206	0.000	스프링부재	106
5	1.000	0.083333	8,665	0.000	스프링부재	107~126
6	1.000	0.083333	8,410	0.000	스프링부재	127
7	1.000	0.083333	8,155	0.000	스프링부재	128~131
8	1.000	0.083333	12,238	0.000	스프링부재	132

- 작용하중

·자중(CASE-1)

: 단위중량(γ) = 2.5 tonf/m³

: E(탄성계수) = $15,000\sqrt{f_{ck}}$ = $15,000\sqrt{240}$ = 2.35E5(kgf/m²)

: 구조체의 콘크리트 라이닝의 자중은 프로그램에서 자동적으로 계산된다.

- 지반이완하중

: 이완하중고 H = 4.0m($\gamma=2.0$ tonf/m³, $\nu=0.27$)

: 발파에 의한 수직이완하중(CASE-2), $P_v = 4.0 \times 2.0 = 8.000$ tonf/m²

: 발파에 의한 수평이완하중(CASE-3), $P_h = 0.5 \times 8.0 = 4.000$ tonf/m²

: 지반탄성계수 E = 60,000 tonf/m²

- 하중조합

: $1.0 \times \text{CASE-1} + 1.0 \times \text{CASE-2} \Rightarrow$ 허용응력설계법

- 해석결과

검토위치		하중조합	부재번호	해석단면력		
				모멘트 (tonf · m)	축력 (tonf)	전단력 (tonf)
라이닝	천정부	1	16	5.932	58.642	4.967
	측벽부	1	11	5.092	76.170	3.886
			23	5.105	76.172	3.888
	측벽하부	1	2	6.164	121.113	1.384

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 4.24〉 지반 안전성평가 결과

시설물 안전성평가 결과 산정표						
시설물명	문수터널(부산,포항)					
부재구분	변위 또는 응력				안전성능 여부 (안전, 불안전)	비 고
	해석단면1 (TYPE2)	해석단면2 (TYPE3)	해석단면3 (TYPE4)	해석단면4 (TYPE5)		
천단변위 (mm)	-6.67	-8.31	-9.23	-3.22	안전	프랑스 공업성 평가기 준 허용변위 10~20mm
내공변위 (mm)	-8.40	-12.50	-11.37	-5.39	안전	
쏟크리트 응력 (kgf/cm ²)	68.2	80.7	82.8	51.8	안전	허용휨압축응력 84(kgf/cm ²)
록볼트 축력 (ton)	6.14	8.20	6.08	5.90	안전	허용축력 8.75(ton)
안전성능평가 결과	안전					

2) 콘크리트 라이닝 안전성평가

콘크리트라이닝에 대한 안전성평가는 무근콘크리트인 본선부 TYPE 1~3, TYPE4,5 구간으로 구분하여 수행 되었다. 무근부는 허용응력법으로 검토한결과 전체적으로 안전율을 확보하고 있으며, 최소안전율은 휨응력에 대해 1.47으로 판정되어 안전성평가는 a등급으로 판정 되었다.

〈표 4.25〉 콘크리트 라이닝 안전성평가 결과(부산)

시설물 안전성평가 결과 산정표				
시설물명		문수터널(부산방향)		
부재구분		안전율(SF)	평가결과	비 고
지반등급 1~3 (무근구간)	휨응력	9.82	a	허용응력법
	전단응력	15.25	a	허용응력법
지반등급 4,5 (무근구간)	휨응력	1.47	a	허용응력법
	전단응력	2.73	a	허용응력법
안전성능평가 결과		• 최저 안전성능평가 결과 =A		

〈표 4.26〉 콘크리트 라이닝 안전성평가 결과(포항)

시설물 안전성평가 결과 산정표				
시설물명		문수터널(포항방향)		
부재구분		안전율(SF)	평가결과	비 고
지반등급 1~3 (무근구간)	휨응력	9.82	a	허용응력법
	전단응력	15.25	a	허용응력법
지반등급 4,5 (무근구간)	휨응력	1.47	a	허용응력법
	전단응력	2.73	a	허용응력법
안전성능평가 결과		• 최저 안전성능평가 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, 문수터널(부산) 및 문수터널(포항)의 전체 안전성능 평가 결과는 “B”로 평가되었다.

〈표 4.27〉 콘크터널의 안전성능평가 결과산정(부산)

시설물 안전성능평가 결과 산정표				
시설물명	문수터널(부산방향)			
평가구분	결함지수	평가결과	비 고	
상태안전성능 평가	0.182	b	근거 표번호	
구조안전성능 평가	0.14	a	근거 표번호	
안전성능평가 결과	- 안전성능평가 결과 = B - 안전성능 평가지수(ps) = 0.182			

〈표 4.28〉 콘크터널의 안전성능평가 결과산정(포항)

시설물 안전성능평가 결과 산정표				
시설물명	문수터널(포항방향)			
평가구분	결함지수	평가결과	비 고	
상태안전성능 평가	0.252	b	근거 표번호	
구조안전성능 평가	0.14	a	근거 표번호	
안전성능평가 결과	- 안전성능평가 결과 = B - 안전성능 평가지수(ps) = 0.252			

