

요 약 문

1. 성능평가의 개요

1.1 성능평가의 목적

본 과업은 “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법”에 의거한 시설물의 성능평가 용역으로서 시설물에 대한 물리적, 기능적 결함을 조사하고 구조적 안전성 및 손상상태를 점검하여 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물 기능, 성능저하 상태 등을 신속·정확하게 조사함으로써 대상 시설물의 안전성 및 적절한 종합성능 확보여부를 검토·분석·평가함과 더불어 그에 적절한 보수·보강방법과 전략적 유지관리 방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

1.2 과업의 범위 및 내용

1.2.1 과업의 범위

- 가. 현황조사 및 관련자료 수집과 분석
- 나. 현장조사 및 시험
- 다. 안전성능 평가
- 라. 내구성능 평가
- 마. 사용성능 평가
- 바. 종합평가
- 사. 유지관리 전략 제안
- 아. 보고서 작성 및 제출

1.2.2 과업수행기간

2018. 08. 16 ~ 2019. 08. 23(착수일로부터 373일간)

1.2.2 과업의 내용

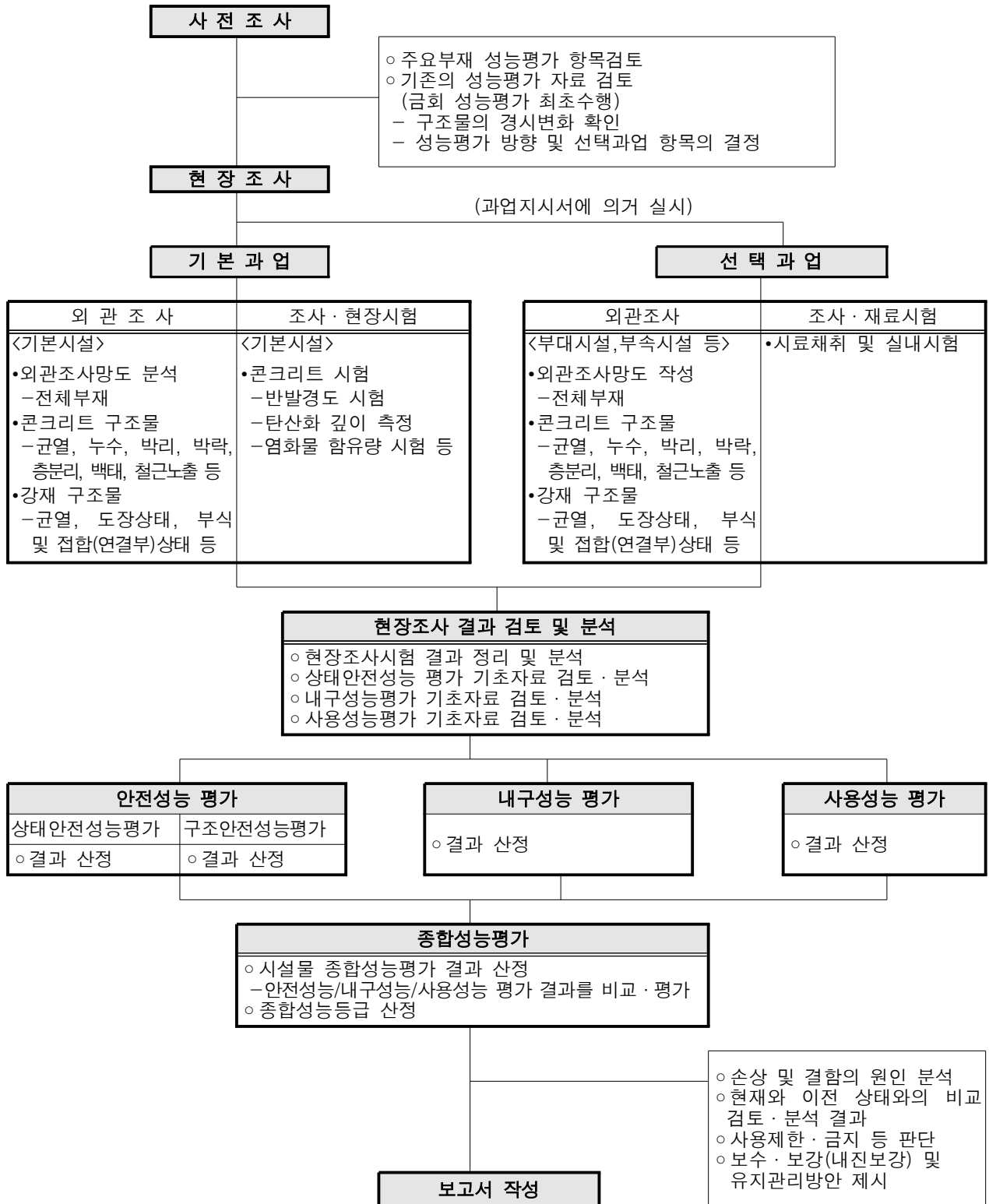
본 과업을 수행하기 위하여 실시한 성능평가의 세부내용은 다음과 같다.

과업의 범위		과업의 내용	비고
설계도서 및 관련 자료, 수집·검토		○ 실시설계보고서, 토질조사보고서, 준공도면, 구조계산서 검토 ○ 시공·보수도면, 제작 및 작업도면 ○ 재료증명서, 품질시험기록, 재하시험 재료, 계측자료 ○ 시설물관리대장 ○ 시설물의 내구성능(염해·동해환경, 해안거리 등) 및 사용성능(사용자 편의성, 시설물의 수요 및 용량 등)에 대한 자료 ○ 기존 정밀안전점검 및 정밀안전진단, 성능평가 실시결과 ○ 보수·보강이력 및 유지관리 결과보고서	
현장 조사 및 시험	외관 조사	○ 대상시설물의 외관조사 및 외관조사망도 작성 － 콘크리트 구조물: 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리 백태, 철근노출 등	
	재료 시험	○ 시설물의 내구성능 및 사용성능을 측정하기 위한 현장 재료 시험 － 콘크리트 시험 : 비파괴시험(반발경도시험, 초음파전달속도 시험 등), 탄산화 깊이 측정, 염화물침투량 시험 등	
안전성능 평가		○ 상태안전 성능 － 외관조사 결과 － 현장시험 및 재료시험 결과분석 － 대상 시설물(부재)에 대한 상태안전성능 평가 － 시설물 전체의 상태안전성능 결과에 대한 책임기술자의 소견 ○ 구조안전 성능 － 조사, 시험, 측정 결과의 분석 － 기존의 구조계산서 또는 구조안전성능 평가 자료 분석 － 시설물의 구조안전성능 결과에 대한 소견	
내구성능 평가		○ 외관조사 결과 분석 ○ 현장시험 및 재료시험 결과 분석, 내구성능 관련 수집자료 검토 ○ 사용재료(콘크리트 및 강재 등)에 대한 내구성능 평가 ○ 시설물의 내구성능 평가 결과에 대한 책임기술자의 소견	
사용성능 평가		○ 사용성능 관련 수집자료 검토 ○ 사용환경 및 기능 등에 대한 사용성능 평가 ○ 시설물의 사용성능 평가 결과에 대한 책임기술자의 소견	
종합평가		○ 안전성능, 내구성능, 사용성능 평가에 대한 결과 분석 ○ 전체적인 평가에 대한 책임기술자 소견 ○ 시설물의 종합성능등급 지정	
유지관리 전략 제언		○ 시설물의 성능목표 및 성능평가 실시결과 검토·분석 ○ 성능목표에 따른 보수·보강 방법 및 전략 제시	
보고서 작성		○ 외관조사망도 작성 등 보고서 작성	

1.3 과업수행일정

1.3.1 과업수행 절차

본 과업의 수행과정 및 절차를 흐름도로 나타내면 다음과 같다.



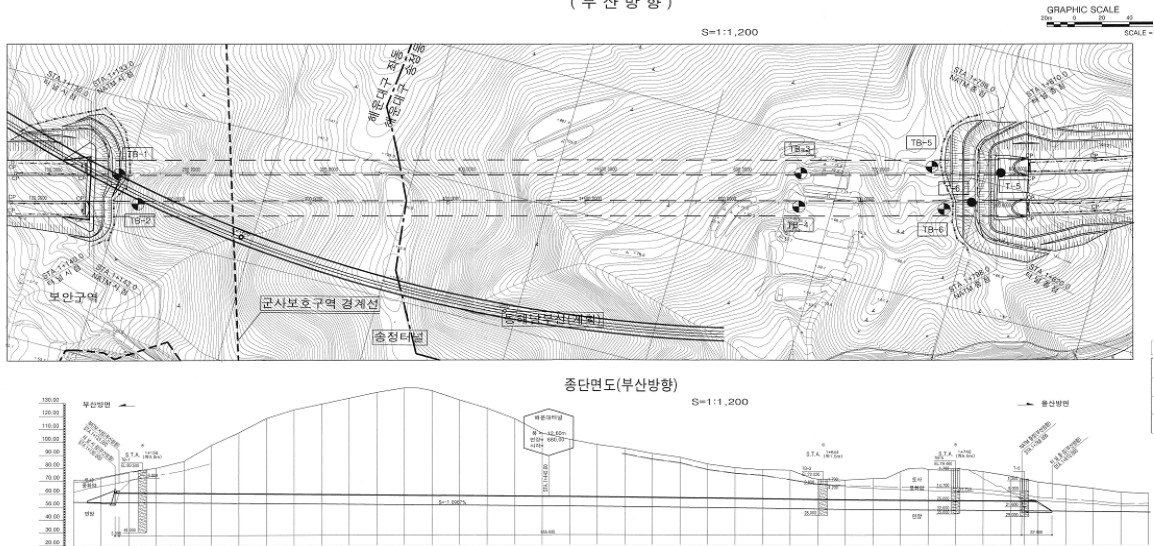
1.4 대상구조물 현황

본 과업의 대상시설물인 해운대터널(부산)의 현황은 다음과 같다.

시설물명	해운대터널(부산)	시설물번호	TU2008-0000190
시점	부산광역시 해운대구 좌동	종점	부산광역시 해운대구 송정동
터널형상	마제형	관리주체	부산울산고속도로(주)
차선수	2차로	환기방식	자연환기-배기
연장	L = 680.0m	설계자	신성엔지니어링(주)
내공단면	B = 7.2m(차도폭), H = 7.3m	시공자	울트라건설(주)
배수형식	배수식	감리사	-
종단경사	-1.1%	착공	2001. 11. 29
곡선반경	-	준공	2008. 12. 31
연결통로	-	갱문형식	시점부 :면벽식 종점부 : 원통절개식
주요공법	NATM	보조공법	록볼트

부산~울산간 고속도로 민간투자 시설사업
제1공구 : 해운대 ~ 송정

해운대 터널 종·평면도(1)
(부 산 방 향)



2. 자료수집 및 분석

2.1 기존 정밀점검 · 정밀안전진단 실시결과

본 터널은 『시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법』 시행이후 시설물정보관리종합 시스템(FMS)에 입력된 자료를 분석한 결과, 2009년 정기점검을 시작으로 이후 정기점검, 정밀점검을 주기적으로 수행하였다. 주요 현황은 다음과 같다.

점검 및 진단 이력

번호	일자	종류	내용	비고
1	2018-05-18	정기점검	양호함	자체수행
2	2017-11-29	정기점검	양호함	자체수행
3	2017-06-26	정기점검	양호함	자체수행
4	2016-12-30	정밀점검	라이닝균열(0.3mm내외), 파손,조인트부박락, 마감불량 측벽부균열(0.3mm이상), 타일탈락및파손 공동구덮개파손, 배수시설이물질퇴적, 사면식생불량	(주)엠케이 에스이
5	2016-04-04	정기점검	양호함	자체수행
6	2015-07-21	정기점검	양호	자체수행
7	2015-05-25	정기점검	양호	자체수행
8	2014-11-03	정기점검	양호	자체수행
9	2014-06-09	정기점검	양호	자체수행
10	2013-09-16	정밀점검	양호	자체수행
11	2013-04-26	정기점검	양호	자체수행
12	2012-10-11	정기점검	이상없음	자체수행
13	2012-04-11	정기점검	양호	자체수행
14	2011-11-08	정기점검	양호	자체수행
15	2011-04-12	정기점검	이상없음	자체수행
16	2010-12-08	정기점검	양호함	자체수행
17	2010-05-10	정밀점검	전반적으로 양호한 상태	자체수행
18	2009-11-25	정기점검	타일부 먼지오염	자체수행
19	2009-06-30	정기점검	이상없음	자체수행

2.2 보수 · 보강이력

보수 · 보강이력

번호	공사기간	공사구분	부위	공사내역	공사비(원)	시공자
				-		

※ FMS 내 시설물관리대장 및 관리주체의 HBMS 보수 · 보강이력 참조

※ 시설물관리대장에 보수 · 보강이력은 없으나 금회 현장조사 시 일부 보수가 시행된 것을 확인함.

3. 현장조사 및 시험

3.1 외관조사 결과

외관조사 손상수량 집계

구 분	손 상 명	총 계		단 위	비 고
		개 소	물 량		
라이닝	균열 (0.3mm이상)	19	43.5	m	1순위
	균열 (0.3mm미만)	11	30.5	m	3순위
	보수부재균열 (0.3mm이상)	22	190.0	m	1순위
	보수부재균열 (0.3mm미만)	25	179.0	m	3순위
	망상균열	2	16.0	m²	주의관찰
	파손	1	0.01	m²	3순위
	박락	28	1.01	m²	3순위
	마감불량	1	0.09	m²	주의관찰
벽체	균열 (0.3mm이상)	14	14.1	m	1순위
	균열 (0.3mm미만)	23	50.2	m	3순위
	보수부재균열 (0.3mm이상)	1	2.0	m	1순위
	망상균열	1	3.75	m²	주의관찰
	박리	7	1.96	m²	3순위
	보수 불량	1	0.04	m²	주의관찰
	굽힘	1	0.45	m²	주의관찰
	타일파손	24	24	EA	주의관찰
	타일탈락	3	3	EA	주의관찰
공동구	균열 (0.3mm이상)	14	5.5	m	2순위
	균열 (0.3mm미만)	80	31.5	m	3순위
	백태	1	0.01	m²	3순위
	파손	15	1.31	m²	3순위
	공동구 덮개파손	17	17	EA	주의관찰
배수로	균열 (0.3mm미만)	47	28.2	m	3순위
	파손	1	0.54	m²	3순위
배수시설	집수구토사퇴적	11	11	EA	1순위
포장부	포장균열	3	3.2	m	주의관찰
	포장파손	3	0.12	m²	주의관찰
	포장패임	6	0.06	m²	주의관찰
	포장재료분리	3	1.55	m²	주의관찰
옹벽	균열 (0.3mm미만)	2	2.5	m	주의관찰
	망상균열	1	1.2	m²	주의관찰
사면	떼 유실	1	18.0	m²	주의관찰

3.2 재료시험 결과

가. 금회 진단 내구성조사 결과요약

금회 진단 내구성조사 결과요약

구분	비파괴시험 결과					평가의견	
압축강도 (MPa)	구분		압축강도		설계강도	●콘크리트 강도는 설계강도 이상으로 양호하게 평가됨.	
	라이닝	2 SPAN	27.1		24.0		
		33 SPAN	27.4				
		76 SPAN	26.7				
탄산화 깊이 (mm)	시험위치		피복두께 (mm)	탄산화 깊이 (mm)	잔여깊이 (mm)	상태등급	●상태등급 a로 평가되어 탄산화에 의한 부식발생 우려 없음으로 평가됨.
	라이닝	2 SPAN	65.0	7.5	57.5	a	
		75 SPAN	65.5	6.9	58.6	a	
		76 SPAN	65.0	5.7	59.3	a	
염화물 함유량 시험 (kg/m³)	터 널 라이닝		—		0.045~0.115		●본 구조물은 준공이후 최초로 실시되는 정밀안전진단으로, 기 점검('16년)시 염화물함유량 시험은 기본과업이 아니므로 비교·분석이 불가하였음.
	갱구부		—		0.156		

나. 내구성조사 기 점검 결과와의 비교

구분			2016년 정밀점검		2018년 정밀안전점검	
콘크리트 비파괴	압축강도	구분	압축강도 (MPa)	설계강도 (MPa)	압축강도 (MPa)	설계강도 (MPa)
		라이닝 천단부	27.1~27.4	24.0	26.7~27.4	24.0
	탄산화 깊이	구분	탄산화깊이 (mm)	잔여깊이 (mm)	탄산화깊이 (mm)	잔여깊이 (mm)
		라이닝 천단부	4.2~4.5	61.0~61.3 (a등급)	5.7~7.5	57.5~59.3 (a등급)
비교 및 평가			-기존 점검결과와 비교하여 콘크리트 내구성은 양호한 것으로 판 단됨.			

4. 시설물의 안전성능 평가

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			

5. 시설물의 내구성능 평가

콘크리트 내구성능 평가항목은 열화진전 항목 및 열화환경 항목 2가지를 평가하였다. 다만, 열화환경 평가는 별도로 관리하며, 콘크리트 내구성능 종합등급에 반영하지 않는다.

염화물 침투량, 탄산화 깊이 및 피복 콘크리트의 품질을 통한 내구성능 평가 결과, 해운대터널(부산)은 “A”(Xn=0.080)으로 평가되었다.

구분	세부 부재명 (가중치,%)	항목별 평가 결과				
		염화물 침투량	탄산화 깊이	피복 콘크리트의 품질	부재 등급	비고
해운대터널(부산)	본선라이닝(70)	a	a	a	a	0.08
	갱문(30)	a	—	—	a	0.08
결함도 지수			•해운대터널(부산) : $(0.08 \times 70 + 0.08 \times 30) / 100 = 0.080$			
등 급			•해운대터널(부산) : A			

6. 시설물의 사용성능 평가

해운대터널(부산)의 사용성능 평가 결과는 현재 수요 등을 만족하나 장래 수요 및 외부조건 변화등에 대한 관찰 및 주의가 필요한 성능 수준인 “B”로 평가되었다.

성능의 구분	특징	세부지표의 분류	가중치	평가결과	등급점수
사용성능	주행성	포장상태	0.182	a	5
		터널내 휘도	0.139	a	5
	방재성	방재시설	0.187	b	4
		비상대피시간	0.184	c	3
기능성	유지관리성	기계/전기설비	0.144	b	4
	수요 및 용량	교통량	0.164	e	1
결함도 지수	5.00×0.182 + 5.00×0.139 + 4.00×0.187 + 3.00×0.184 + 4.00×0.144 + 1.00×0.164 =				3.645
사용성능 등급					B

7. 종합성능 평가결과

외관조사에 의한 상태 안전성능 평가 결과와 구조검토에 의한 안전성능 평가 결과, 내구성능 및 사용성능 평가를 종합하여 검토한 결과, 해운대터널(부산)은 “일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준”인 “B등급”으로 평가되었다.

시설물 종합성능등급 결과 산정표				
시설물명	해운대터널(부산)			
평가구분	성능별 평가지수 (P_n)	평가등급	성능간 가중치 (W_n)	비 고
안전성능 평가	$P_s=0.228$	B	0.72	
내구성능 평가	$P_d=0.080$	A	0.20	
사용성능 평가	$P_u=0.230$	B	0.08	
종합성능평가 결과	• 종합 성능평가지수(P) $= \sum(\text{성능별 평가지수}(P_n) \times \text{성능간 가중치}(W_n))$ $= 0.228 \times 0.72 + 0.080 \times 0.20 + 0.230 \times 0.08 = 0.199$ • 종합 성능평가지수(P) : 0.199 • 종합성능평가 결과 : B			

8. 유지관리 전략 제안

8.1 우선순위 전략

부재	손상 내용	보수 방안	비용 (Cost) (천원)	부재별 가중치(%)			성능별 가중치			합계 (EI)	우선 순위 지수 (PI) EI/Cost	순위
				안전 성능 (E1)	내구 성능 (E2)	사용 성능 (E3)	안전 성능 E1×P1	내구 성능 E2×P2	사용 성능 E3×P3			
라이닝	박락	단면보수	4,000	5.1	70.0	—	3.672	14.000	—	17.672	0.00441800	1
공동구	백태	표면처리	1,000	2.4	—	—	1.728	—	—	1.728	0.00172800	2
라이닝	파손	단면보수	334,000	8.7	70.0	—	6.264	14.000	—	20.264	0.00006067	3
배수시설	파손	단면보수	178,000	6.6	—	—	4.752	—	—	4.752	0.00002670	4
라이닝	박리	단면보수	647,000	3.4	70.0	—	2.448	14.000	—	16.448	0.00002542	5
배수시설	균열(cw=0.3mm미만)	표면처리	582,000	6.6	—	—	4.752	—	—	4.752	0.00000816	6
라이닝	균열(cw=0.3mm미만)	표면처리	3,896,000	15.7	70.0	—	11.304	14.000	—	25.304	0.00000649	7
배수시설	집수구토사토적	청 소	1,100,000	6.6	—	—	4.752	—	—	4.752	0.00000432	8
공동구	파손	단면보수	433,000	2.4	—	—	1.728	—	—	1.728	0.00000399	9
공동구	균열(cw=0.3mm미만)	표면처리	650,000	2.4	—	—	1.728	—	—	1.728	0.00000266	10
공동구	균열(cw=0.3mm이상)	주입보수	660,000	2.4	—	—	1.728	—	—	1.728	0.00000262	11
라이닝	균열(cw=0.3mm이상)	주입보수	29,952,000	15.7	70.0	—	11.304	14.000	—	25.304	0.00000084	12

종합평가 가중치 : P1=72%, P2=20%, P3=8%

9. 종합결론

9.1 종합결론

- 대상 터널은 공용년수가 증가함에 따라 손상의 급격한 진전은 없는 상태로써, 일부부재에 발생한 손상에 대해서는 보수·보강이 필요하며, 보고서에서 제시한 보수·보강 및 유지관리 방법에 따른 보수·보강과 지속적인 관리가 필요한 것으로 판단된다.
- 본 터널의 안전성능 및 내구성능, 사용성능 평가 결과를 토대로 종합성능평가 등급을 산정하면 해운대터널(부산)은 『B등급(양호)』로 평가되었다.
- 이는 시설물의 성능평가 목표치인 B등급에 부합되는 결과로서 해운대터널(부산)은 “일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준”인 것으로 분석되었다.
- 대상 시설물에 발생한 손상중 라이닝에 발생한 손상은 시설물의 안전성 및 사용성 증대를 위해 우선보수가 필요하며, 성능목표(B등급)와 종합성능 평가등급(B등급)이 부합되는 수준으로 분석되었으므로, 시급한 보수를 요하진 않으나 우선순위 산정결과에 따라 시설물의 성능향상을 위해 순차적인 보수가 필요할 것으로 판단된다.

9.2 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항

- 라이닝 시공이음부 박락 손상 발생부 단면보수 후 추가손상 및 신규손상 발생여부 관찰