

성능평가 결과 요약문

1. 과업의 목적

본 「시설물의 안전 및 유지관리의 실시 세부지침(성능평가 편)(이하「세부지침」이라 한다)은 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하「법」이라 한다) 제43조 및 같은 「법」 시행령(이하「령」이라 한다) 제30조 및 같은 「법」 시행규칙(이하「규칙」이라 한다) 제32조에 따라 「시설물의 안전 및 유지관리의 실시 등에 관한 지침」(국토교통부 고시 제2018-45호, 이하「지침」이라 한다)에서 정하는 유지관리·성능평가의 실시방법·절차 등에 관한 필요사항을 시설물별로 보다 상세히 제시하고 그 실시요령을 정하여 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물 기능 및 성능저하, 상태 등을 신속·정확하게 조사·평가하고, 그에 대한 적절한 성능확보를 취하여 재해 및 재난을 예방하며, 시설물의 안전성능 및 내구성능, 사용성능을 보완·보전케 함으로써 시설물의 효용성을 증진시킴과 더불어 과학적 유지관리를 체계화하는데 그 목적이 있다.

2. 과업 수행 내용

2.1 과업의 범위

터널의 성능평가 실시 범위에 대한 세부적인 대상시설은 아래 표와 같다.

구 분	시설물명	비고
기본 시설물	갱문	재래식터널 NATM터널 SHIELD터널 개착터널에 공통적용
	굴착터널(굴착구간) 라이닝	
	개착터널(개착구간) 라이닝	
	터널주변(배수시설, 공동구 등)	
부대 시설물	연직갱 및 경사갱	
	환기구	
	피난연락갱	
	연결터널(환기시설)	

구 분	지사	시설물명	노선	이정 (km)	연장 (m)	상부형식	준공년도	비고
터널	대관령	진부2터널(인천)	영동	195.97	185	NATM	1999	

2.2 과업의 내용

2.2.1 기초자료 수집 및 분석

구 분	내 용	비고
사전조사	• 준공도면, 구조계산서, 특별시방서, 수리·수문계산서, 유지관리지침서 • 시공·보수도면, 제작 및 작업도면 • 재료증명서, 품질시험기록, 계측자료 • 시설물관리대장 • 시설물의 내구성능(염해·동해환경, 해안거리 등) 및 사용성능(포장, 휘도, 방재 등), 기능성능(기계/전기설비, 전력/통신/신호설비 및 수요 및 용량 등)에 대한 자료 • 기존 정밀안전점검 및 정밀안전진단, 성능평가 실시결과 • 보수·보강이력 및 유지관리 결과보고서	본부자료 및 FMS자료 활용

2.2.2 현장조사 및 시험

구 분	내 용	비고
외관조사	■ 구조요소별 외관 결함 및 손상(균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등) 등 외관조사 및 외관조사망도 작성	접근장비 이용 및 기존자료 활용
현장 재료시험	■ 비파괴 조사 - 반발경도법 의한 콘크리트 강도조사 - 전자기를 이용한 철근탐사 - 탄산화시험 - 염화물 함유량 시험	비파괴 시험장비

2.2.3 안전성능평가

구 분	내 용	비고
상태안전성능	■ 외관조사 결과분석 ■ 현장시험 및 재료시험 결과 분석 ■ 대상 시설물(부재)에 대한 상태안전성능 평가 ■ 시설물 전체의 상태안전성능 결과에 대한 책임기술자의 소견	
구조안전성능	■ 기존 구조해석 자료를 통한 구조안전성능 결과 분석	

2.2.4 내구성능평가

구 분	내 용	비고
내구성능평가	■ 외관조사 결과분석 ■ 현장시험 및 재료시험 결과 분석, 내구성능 관련 수집자료 검토 ■ 사용재료에 대한 내구성능 평가 ■ 시설물의 내구성능 평가 결과에 대한 책임기술자의 소견	

2.2.5 사용성능평가

구 분	내 용	비고
사용성능평가	■ 사용성능 관련 수집자료 검토 ■ 사용환경 및 기능 등에 대한 사용성능 평가 ■ 시설물의 사용성능 평가 결과에 대한 책임기술자의 소견	

2.2.6 종합 평가

구 분	내 용	비고
종합평가	■ 안전성능, 내구성능, 사용성능 평가의 결과 분석 ■ 전체적인 평가에 대한 책임기술자의 소견 ■ 시설물의 종합성능등급 지정	

2.2.7 유지관리 전략 제언

구 분	내 용	비고
유지관리 전략 제언	■ 시설물의 성능목표 및 성능평가 실시결과 검토·분석 ■ 성능목표에 따른 보수·보강 방법 및 전략 제시	

2.2.8 보고서 작성

구 분	내 용	비고
보고서 작성	■ 외관조사망도 작성 등 보고서 작성	

3. 과업 수행 기간

과업기간 : 2019. 05. 27 ~ 2019. 12. 27 (215일간)

4. 시설물 현황

터널명	진부2터널(인천)		
노선명	영동선 (195.97km)	시행청	한국도로공사
시설물위치	강원도 평창군 진부면 하진부리 산251-1		
터널형식	난형	관리주체	대관령지사
차선수	2차로	환기방식	자연환기
연장	L = 185.0m	설계사	삼보기술단
내공단면	B = 9.6m, H = 6.7m	시공사	두산건설(주)
배수형식	측면배수	감리사	-
종단기울기	S = +1.000%	착공	1997년 11월 04일
평면선형	-	준공	1999년 12월 18일
연결통로	없음	개문형식	면벽식
주요공법	NATM	보조공법	pipe roof



외부전경



내부전경

5. 외관조사 결과

구 분	손상내용	보수방안	손상물량	단위	우선순위
라이닝 천단부	형균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	4.6	m	3순위
	형균열(cw=0.3mm이상)	주입보수	28.4	m	1순위
	망상균열	표면보수	140.0	m ²	2순위
	조인트부 들뜸/박락	단면보수	1.34	m ²	2순위
	백태	표면보수	0.1	m ²	2순위
라이닝 측벽부	형균열(cw=0.3mm이상)	주입보수	3.0	m	1순위
	타일 균열	실링	2.4	m	3순위
	타일 들뜸/탈락	재설치	19.0	EA	3순위
	타일 파손	재설치	18.0	EA	3순위
개 문	대리석 균열	실링	3.0	m	3순위
공동구	덮개 파손	재설치	2	EA	3순위
포장부	포장 균열	실링	4.0	m	3순위
	포장 파손	단면보수	1.27	m ²	3순위
	스폴링	단면보수	0.04	m ²	3순위

6. 내구성 조사 결과

항 목	콘크리트 내구성평가 결과				평 가
비파괴 압축강도	구분	시험결과(MPa) ㉠	설계기준(MPa) ㉡	강도비(%) ㉠/㉡×100	양 호
	라이닝	25.2~26.7	24.0	105.0~111.3	
탄산화깊이	탄산화 깊이 (mm)	탄산화 잔여깊이 (mm)		상태평가 기준	부식발생 우려 없음
	16.0~17.0	58.0~59.0		a	
염화물 함유량 시험	위치	라이닝			부식발생 가능성 낮음
	등급	a			

7. 시설물의 안전성능 평가

7.1 상태안전성능 평가 결과

7.1.1 기본시설물 상태안전성능 평가 결과

구분	결함지수(a)	평가등급(b)	연장(m)	연장비	b × 연장비
철근콘크리트라이닝	0.050	a	40	0.216	0.011
무근콘크리트라이닝	0.041	a	145	0.784	0.032
기본시설 결함지수					0.043
상태안전성능 평가 등급					A

7.1.2 전체시설물의 상태안전성능 등급 산정

진부2터널 (인천)	기본시설 결함지수(F)	부대시설 가중치(W)	결함지수(F)	상태안전성능 등급
	0.043	—	0.043	A

7.2 구조안전성능 평가 결과

시설물 구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		진부2터널(인천)		비고
부재구분		안전율(SF)	평가결과	
휨모멘트	벽체	1.148	a	
	슬래브	1.191	a	
전단력	벽체	4.540	a	
	슬래브	1.201	a	
구조안전성능평가 결과		최저 안전성능평가 결과=A, 결함지수=0.14		

평가등급	내 용	결함지수
A	안전율(SF)이 1.0 이상이고 주부재에 손상이 없는경우	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

7.3 안전성능 평가결과

구분	상태안전성능 평가		구조안전성능 평가		비고
	평가지수	평가등급	평가지수	평가등급	
진부2터널(인천)	0.043	A	0.14	A	
안전성능 평가결과	상태안전성능 평가와 구조안전성능 평가를 종합하여 분석한 결과, 안전성능 평가지수는 0.14 로 평가 되었으며, 안전성능 평가등급은 A등급 으로 산정되었다.				

8. 시설물의 내구성능 평가

8.1 내구성능 평가결과

세부 부재명 (가중치, %)	항목별 평가결과				
	염화물 침투량	탄산화 깊이	피복콘크리트의 품질	부재평가결과 (결함도지수)	평가결과 (내구성능평가지수)
본선라이닝(70)	a	a	a	a (0.08)	A (pd=0.08)
갯문(30)	-	a	a	a (0.08)	
평가지수		(0.08×70+0.08×30)/100 = 0.08			
등급		A			

8.2 열화환경지표의 평가

열화환경지표	평가등급	비고
제설제 염해환경	C	
비래염분염해환경	A	
동해환경	B	

9. 시설물의 사용성능 평가

9.1 사용성능평가 결과

사용성 및 기능성에 대한 사용성능평가 결과, 결함점수 4.118로 산정되어 사용성능의 종합 등급은 “현재 수요 등을 만족하고 장래 수요 및 외부조건 변화 등에 대한 관찰 및 주의가 필요한 성능 수준”인 B등급으로 평가되었다.

성능의 구분	특 징	세부지표의 분류	가중치	평가 결과	등급 점수
사용성	주행성	포장상태	0.182	b	4
		터널내 휘도	0.139	e	1
	방재성	방재시설	0.187	a	5
		비상대피시간	0.184	a	5
기능성	유지관리성	기전설비	0.144	b	4
	수요 및 용량	교통량	0.164	a	5
결함점수	$(4 \times 0.182) + (1 \times 0.139) + (5 \times 0.187) + (5 \times 0.184) + (4 \times 0.144) + (5 \times 0.164) =$				4.118
등 급	A: $4.5 \leq$ 결함점수 B: $3.5 \leq$ 결함점수 < 4.5 C: $2.5 \leq$ 결함점수 < 3.5 D: $1.5 \leq$ 결함점수 < 2.5 E: 결함점수 < 1.5				B
사용성능 평가지수	A	B	C	D	E
	0.08	0.23	0.43	0.65	0.88
					0.08

10. 종합평가

10.1 종합성능 평가결과

시설물 종합평가 결과				
시설물명	진부2터널(인천)			
평가구분	평가지수	평가결과	성능간 가중치(Wa)	비 고
안전성능 평가 (ps)	0.14	a	0.72	
내구성능 평가 (pd)	0.08	a	0.20	
사용성능 평가 (pu)	0.23	b	0.08	
종합평가 결과	- 터널의 종합평가 지수(P) $= \sum \text{평가지수}(pn) \times \text{성능간 가중치}(Wn)$ $= 0.14 \times 0.72 + 0.08 \times 0.20 + 0.23 \times 0.08 = 0.135$ - 터널의 종합평가 지수(P) : 0.135 - 터널의 종합평가 결과 : A			

11. 시설물의 유지관리 전략 제안

11.1 보수 개략 공사비

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단 위	단가 (천원)	개략공사비 (천원)	우선 순위
라이닝 천단부	횡균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	1.15	1.73	m ²	58	100	3순위
	횡균열(cw=0.3mm이상)	주입보수	28.4	42.6	m	70	2,982	1순위
	망상균열	표면보수	140.0	210	m ²	58	12,180	2순위
	조인트부 들뜸/박락	단면보수	1.34	2.01	m ²	138	277	2순위
	백태	표면보수	0.1	0.15	m ²	58	8	2순위
라이닝 측벽부	횡균열(cw=0.3mm이상)	주입보수	3.0	4.5	m	70	315	1순위
	타일 균열	실링	2.4	3.6	m ²	70	252	3순위
	타일 들뜸/탈락	재설치	19.0	28.5	EA	67	1,909	3순위
	타일 파손	재설치	18.0	27	EA	67	1,809	3순위
갯 문	대리석 균열	실링	3.0	4.5	m	70	315	3순위
공동구	덮개 파손	재설치	2	3	EA	80	240	3순위
포장부	포장 균열	실링	4.0	6	m ²	70	420	3순위
	포장 파손	단면보수	1.27	1.9	m ²	138	262	3순위
	스폴링	단면보수	0.04	0.06	m ²	138	8	3순위
개략공사비	구분	1순위		2순위		3순위		
	순공사비	3,297		12,466		5,315		
	제경비(순공사비×50%)	1,648		6,233		2,658		
	합계	4,945		18,699		7,973		
유지보수 개략공사비 총계		31,617						

주1)보수물량은 손상물량에 50%를 할증하였음(정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영).

주2)동일부재에서 보수방안을 중심으로 합산하여 개략공사비를 산출하였음.

11.2 성능을 고려한 보수 우선순위

구분		비용 (천원)	요소별 가중치			성능별 가중치(ED)			합계 (ED)	우선 순위 지수 (PD) EI/Cost	순 위
			안전 성능 (E1)	내구 성능 (E2)	사용 성능 (E3)	안전 성능 (E1* P1)	내구 성능 (E2* P2)	사용 성능 (E3* P3)			
라이닝 상태 관련	균 열	15,577	15.7	50	-	0.1130	0.1	-	0.2130	0.000014	4
	누 수	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	파손 및 손상	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	박 리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	충분리 및 박락	285	40.3	50	-	0.2901	0.1	-	0.3901	0.001369	1
	재료분리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	철근노출	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	줄눈부 열화	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
터널주 변관련	내공단면 축소여부	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	배수상태	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	지반상태	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	공동구상태	240	38.8	-	-	0.2793	-	-	0.2793	0.001164	2
	배면공동 유무	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
지진 발생 관련		-	5.2	-	-	0.0374	-	-	0.0374	-	-
주행성(포장부손상)		690	-	-	100	-	-	0.08	0.08	0.000116	3
주) 성능간 가중치 : P1=72%, P2=20%, P3=8%(고속국도) 주) 공사비는 순공사비임(부대비용, 제잡비 별도)											

11.3 유지관리 전략 제언

관리주체는 터널의 경제성(교통량, 투입비용, 향후교통량), 검토사항(시공성, 제 3 대상 위험도, 노선, 환경), 사고위험 등을 종합적으로 고려하여 다수의 시설물 중 보수의 우선순위가 높은 시설물을 결정하고, 개별시설물의 비용효과 분석을 통해 선정된 시설물 내의 부재별 보수·보강 우선순위를 결정하여 유지관리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

다만, 부재별 우선순위를 선정할 때 부재 내의 손상의 경중을 고려한 것이 아닌, 부재별 총공사비와 해당 부재의 가중치를 비교하여 도출된 결론으로써 부재별 보수·보강의 효율성을 판단하는 것이므로 우선순위가 높은 부재라고 하더라도 그 부재가 중대결함을 포함하고 있다고 할 수는 없다. 그러므로 보수를 실시하고자 할 때 주요 손상에 대해 우선적인 보수를 실시하고, 순위별로 순차적인 보수조치가 필요할 것으로 판단된다.

12. 종합결론

12.1 종합결론

본 과업 대상시설물인 진부2터널(인천)은 1999년에 준공된 영동선에 위치한 터널로써, 주요공법은 NATM공법이며, 갯문형식은 난형으로 시공되었다. 제원은 연장 185.0m, 폭 9.6m의 편도2차선 도로터널이다.

대상시설물에 대한 성능평가를 수행하기 위해 안전성능평가, 내구성능평가, 사용성능평가를 위한 현장조사 및 재료시험을 실시하고, 평가에 필요한 자료검토 등을 종합적으로 분석한 결과는 다음과 같다.

-현장조사 및 재료시험-

외관조사결과, 대표적인 결함 및 열화현상으로 콘크리트 부재의 균열 및 단면손상, 균열부백태, 망상균열, 타일 균열 및 파손, 공동구 덮개파손, 포장부 균열, 스폐링, 갯문 마감재박리 등이 조사되어 장기적 공용 및 내구성 유지를 위한 일부 보수가 필요한 상태이며, 재료시험결과, 콘크리트의 품질 및 강도 상태는 건전한 것으로 조사되었다.

-성능평가 결과-

안전성능평가 결과 a등급(ps:0.14), 내구성능평가 결과 a등급(pd:0.08), 사용성능평가 결과 b등급(pu:0.23)으로 평가되었으며, 중요도를 반영한 종합평가 결과 “외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준”인 A등급(P:0.135)으로 평가되었다.

-종합결론-

대상시설물의 종합평가 등급은 성능목표 등급과 동일한 B등급으로 조사되었다. 경제적인 유지관리를 위해서는 발생한 손상 및 열화의 확대 방지를 위한 초기대책을 강구하여야하므로 제2종 성능평가에서 제시된 보수우선순위를 기준으로 보수를 실시하여야 한다. 다만, 보수우선순위가 손상별 우선순위를 나타내는 것은 아니므로 주요 손상에 대한 보수를 선행하는 것이 바람직 할 것으로 판단되며, 주기적인 점검을 통하여 주기적인 유지관리가 수행된다면 도로터널의 기능 및 성능목표 등급을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

12.2 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항

구 분	현 황	관리방안	관련사진
라이닝	•균열, 망상균열 •조인트부 박락	•정기 및 차기 정밀점검 시 손상수량 증가, 손상부 확대여부 확인 - 손상 확대에 따라 보수시기 결정 - 보수 시 품질 및 시공관리 - 보수 후 재손상 발생여부 확인	
측벽부	•균열, 망상균열 •백태, 철근노출 •타일균열 및 탈락	•정기 및 차기 정밀점검 시 손상수량 증가, 발생여부 확인 - 손상 확대에 따라 보수시기 결정 - 보수 시 품질 및 시공관리 - 보수 후 재손상 발생여부 확인	
공동구	•덮개 파손 및 열화 •측구 파손 및 열화	•정기 및 차기 정밀점검 시 손상수량 증가, 발생여부 확인	
포장면	•포장 균열, 파손	•정기 및 차기 정밀점검 시 손상수량 증가, 발생여부 확인	