

3. 부평터널(하)

- 3.1 시설물 개요
- 3.2 자료수집 및 분석
- 3.3 현장조사
- 3.4 콘크리트 내구성조사
- 3.5 안전성능 평가
- 3.6 내구성능 평가
- 3.7 사용성능 평가
- 3.8 종합성능평가
- 3.9 유지관리 전략제안
- 3.10 종합결론 및 건의사항

3. 부평터널(하)

3.1 시설물의 개요

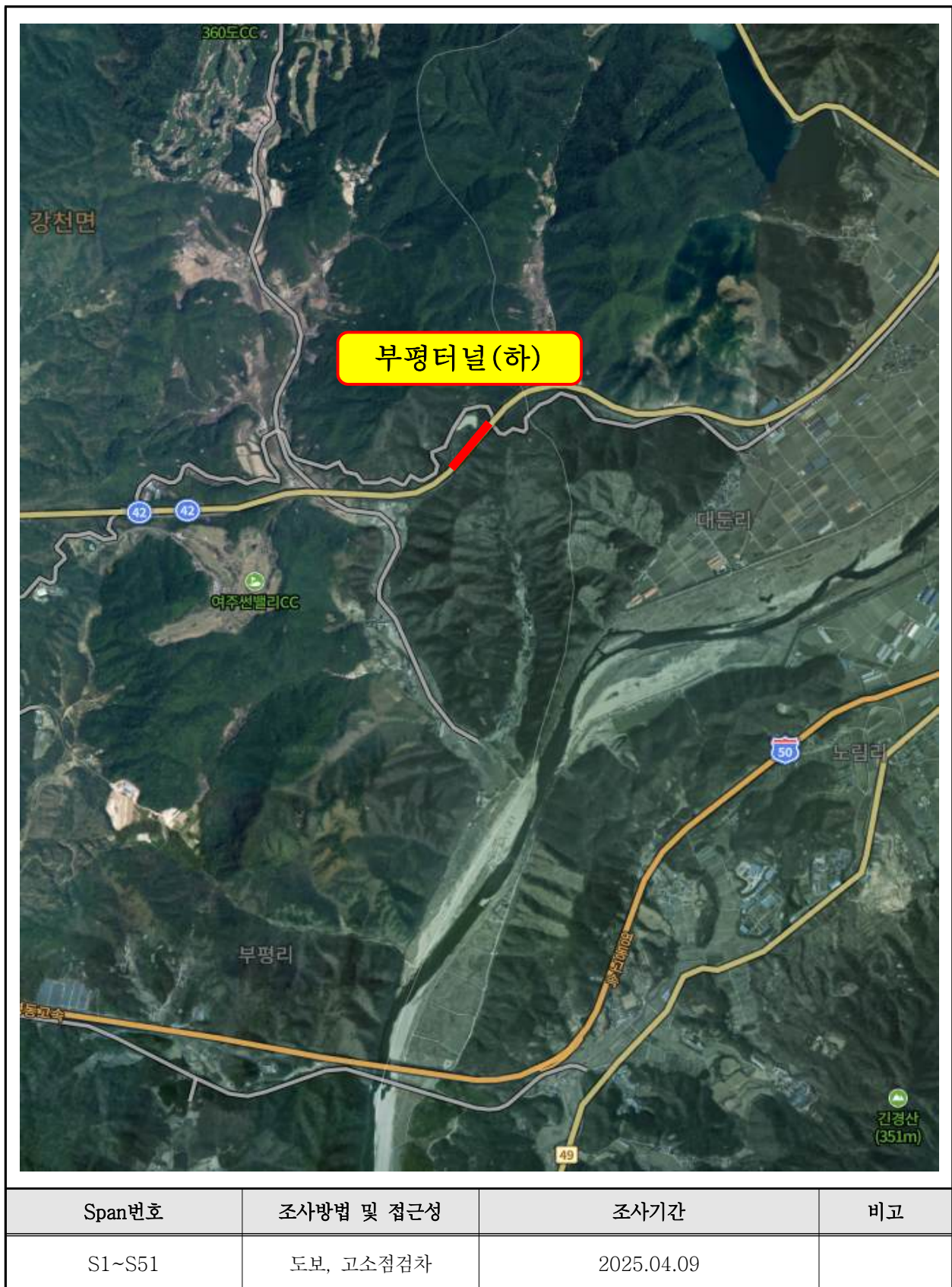
본 시설물인 부평터널(하)는 경기도 여주시 강천면 부평리(국도42호선)에 위치한 터널로 1999년 12월에 준공하여 약 26년간 공용중인 시설물이며, 해당 터널은 2중 시설물로서 연장 446.0m, 편도 2차로, 폭 9.3m, 주요공법은 NATM, 갯문 형식은 면벽식, 환기방식은 자연환기 방식으로 시공되어있다.

3.1.1 일반사항

【표 3.1.1】 부평터널(하) 일반사항

시설물명	부평터널(하)	시설물번호	TU1999-0000064
노 선 명	일반국도42호선	관리번호	-
위 치	경기도 여주시 강천면 부평리 454-3		
터널형식	NATM	관리주체	수원국토관리사무소
차 선 수	편도 2차선	환기방식	자연환기-배기
연 장	446.0m	설 계 사	한국해외기술공사
내공단면	폭 : 9.6m	시 공 사	극동건설(주)
배수형식	측면배수, 자연배수	감 리 사	-
중단기율기	-	착 공	1994년 12월 20일
평균선형	-	준 공	1999년 12월 31일
연결통로	-	갯문형식	면벽식
주요공법	NATM	보조공법	-
			
갯문 전경		내부 전경	

3.1.2 위치도 및 전경사진



【그림 3.1.1】 위치도

	
진입부 전경	진출부 전경
	
내부 전경	소화시설 전경
	
옹벽, 사면부 전경	옹벽, 사면부 전경

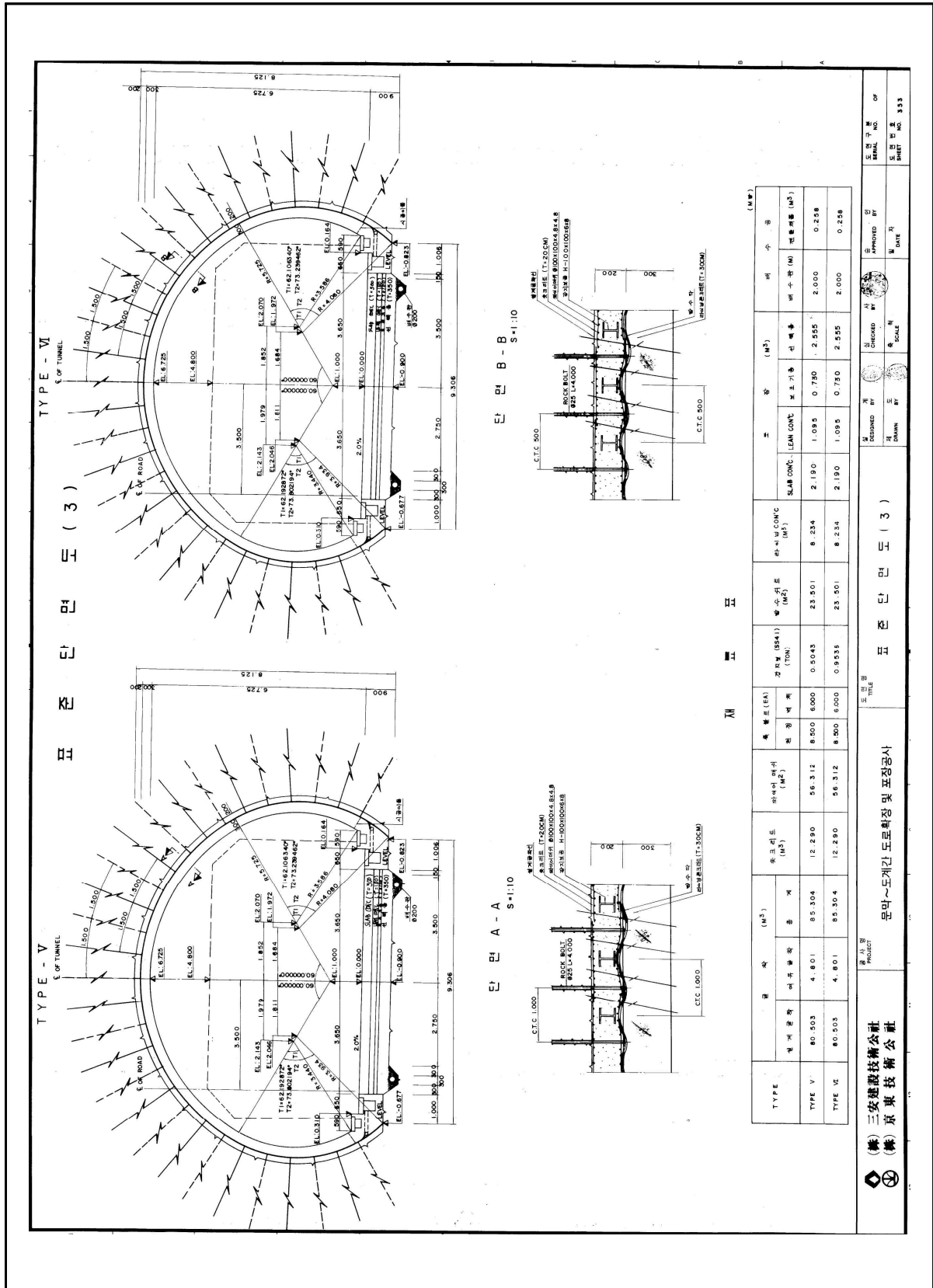
【그림 3.1.2】 부재별 현황

[illegible]

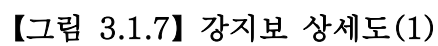
【그림 3.1.3】 평면 및 종단면도

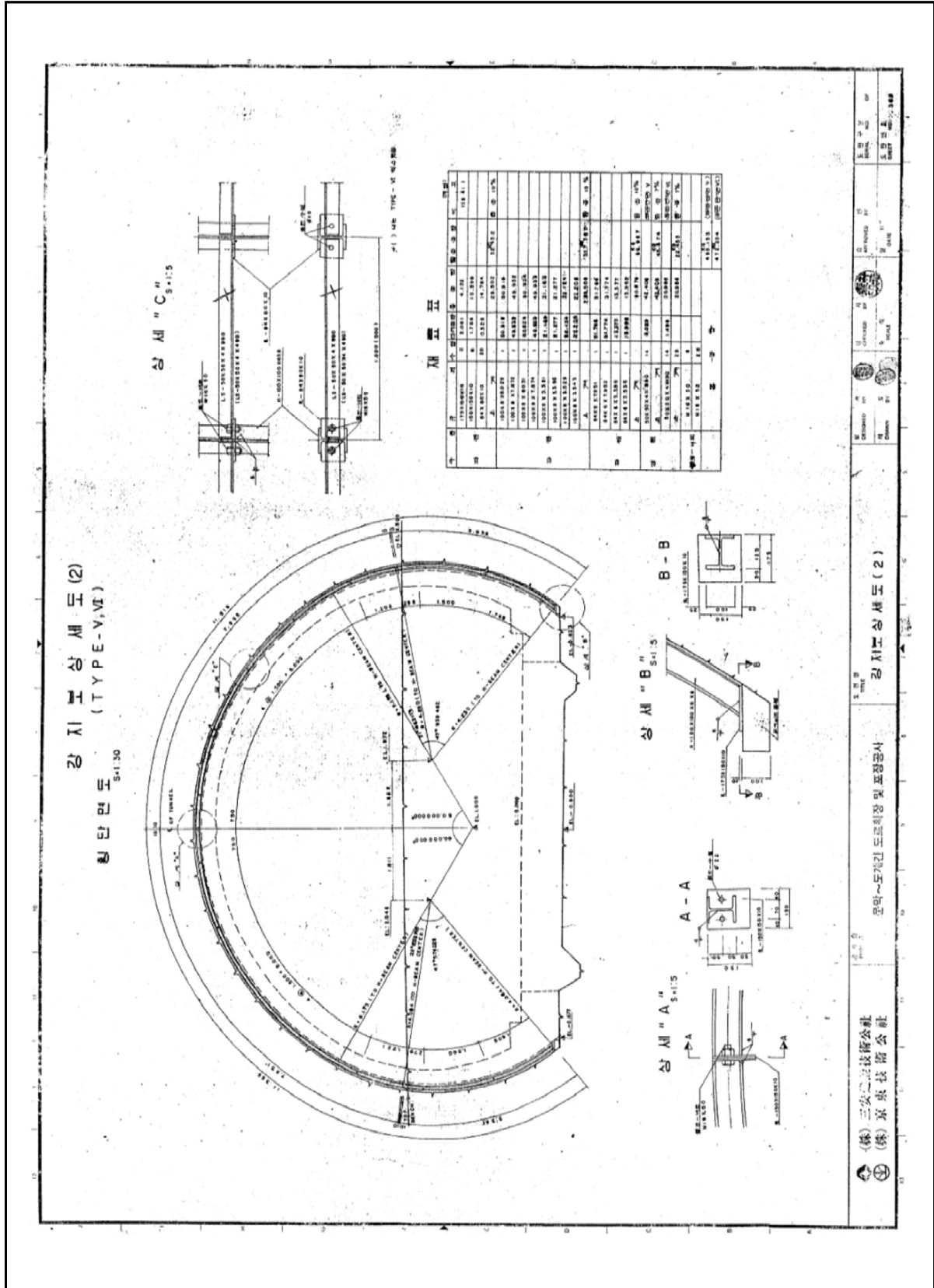




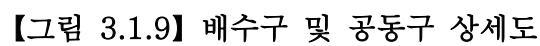


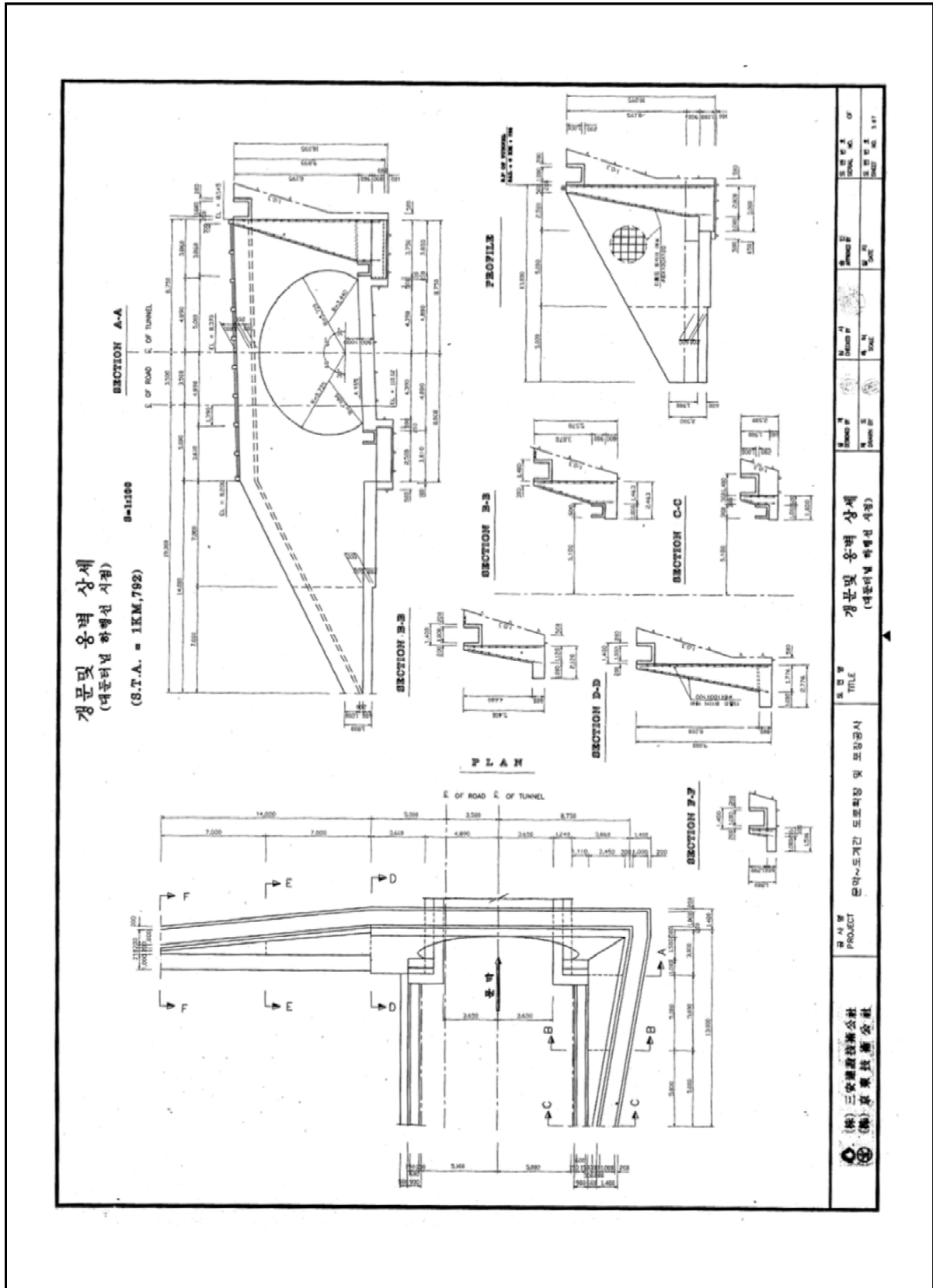
【그림 3.1.6】 표준단면도(3)



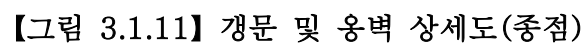


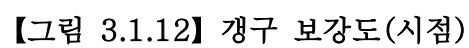
【그림 3.1.8】 강지보 상세도(2)

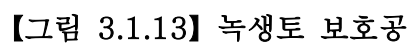




【그림 3.1.10】 경문 및 용벽 상세도(시점)







3.2 자료수집 및 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황, 시설물의 이력 등을 파악하기 위해 설계 및 준공도서, 점검이력, 보수·보강이력 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

3.2.1 설계자료 검토

가. 자료수집 및 현황

보존대상 목록		관리주체 보유현황	비 고
설계 도서	◦ 공통 - 준공내역서 - 공사시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	보유	FMS
	◦ 설계도면 - 터널 - 위치도(또는 배치도), 평면도, 단면도(중·횡), 강지보·록볼트·쉴크리트·라이닝도, 구조물도, 굴착공법 및 보조공법 도면, 보수도면, 기계설비·전기설비도면, 환기시설, 대피소, 갭문, 옹벽, 방수도, 배수도, 관리사무실, 계측 및 기기도 등	보유	
시설물 관리대장	◦ 기본 현황 ◦ 상제 제원 ◦ 유지관리 이력	보유	FMS
시공관련 자료	◦ 시공관련 자료 ◦ 품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 관리 및 선정시험 기록 등 각종 시험 기록 - 시설물의 주요 구조 부위에 대한 계측 관련자료 ◦ 사고기록	미보유	-
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	FMS 보고서
시설물 보수·보강 자료		미보유	FMS

설계도서, 시설물관리대장, 안전점검 및 성능평가 자료, 보수·보강 자료 등 보존대상 자료는 FMS 및 보고서 형식으로 보유하고 있는 것으로 확인되었다.

나. 구조계산서 검토

4. 터널해석에 필요한 입력치의 결정

본 터널구간의 시추조사결과를 '토질조사보고서'에서 기술한 바와 같이 상부의 약 1.3m 정도의 풍화대를 제외하고는 대체로 신선한 암질로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 따라서 터널구간은 경구부의 일부 및 연약한 파쇄대를 제외하고는 대체로 지보형태를 간략하게 설정할 수 있을 것으로 사료된다.

또한 시추조사결과 본 지역의 지질적 특성이 터널의 건설에 매우 유리한 것으로 판단되었으며 실내시험 자료가 없으므로 인근지역의 실험자료인 1992년에 설계된 중앙고속도로 실시설계자료를 이용하여 암석의 물성치를 결정하였다.

중앙고속도로 실시설계(터널해석보고서 중)자료에서 발췌한 지반 및 지보재의 특성은 아래 표<4-1>과 같다

<표 4-1> 지반 및 지보재의 물성치<중앙고속도로 실시설계 지질조사보고서 참조>

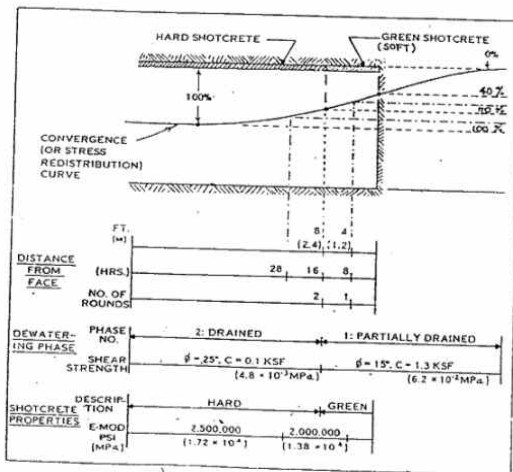
구분	변형계수 (10^{-3} t/m^2)	포아송비	마찰각 ($^\circ$)	단위중량 (t/m^3)	점착력 (t/m^2)	일축압축강도 (kg/cm^2)
동화토	9 (4 - 10)	0.35 (0.3 - 0.35)	30 (30-35)	2.2 (2.0-2.4)	10 (6 - 100)	500-600
동화암	20 (6 - 40)	0.30 (0.3 - 0.35)	35 (30-45)	2.2 (2.0-2.4)	50 (6 - 100)	500-700
연암	50 (10 - 100)	0.25 (0.2 - 0.3)	40 (35-45)	2.4 (2.2-2.5)	100 (50 - 200)	700-900
보통암	85	0.20 (0.2 - 0.3)	45 (40-45)	2.65 (2.2-2.5)	200 (50 - 400)	900-1100
경암	300 (55 - 1000)	0.15 (0.1 - 0.2)	50 (45-55)	2.7 (2.6-2.75)	500 (100-1200)	1100-1300
SOFT SHOTCRETE	50	0.2	30	2.4	200	
HARD SHOTCRETE	1000	0.2	35	2.4	500	
ROCK BOLT	2.1×10^{-4}	0.2		7.85	18000	

주) 괄호안의 값은 중앙고속도로 실시설계 지질조사보고서 시험값의 범위

(2) 강성변화법(Stiffness Variation Method)

응력변수를 직접 사용하는 대신에 강성을 변화시킴으로써 같은 응력분배의 효과를 낼 수 있다. 강성의 변화는 원지반이나 라이닝의 강성의 감소와 증가를 의미한다. 지반의 강성 감소는 굴착의 진행과 관련있으며, 강성증가는 라이닝 요소의 설치로 간주된다. 라이닝(Shotcrete 또는 Grouted segment)은 시간이 경과함에 따라 강성이 증가하므로 (그림 5-4 참조) 라이닝은 응력을 유인한다.

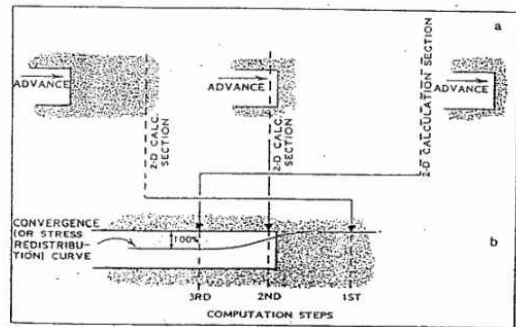
굴착하기 전의 초기 강성이나 탄성계수(E)는 <그림 5-2>와 같다. 이때의 터널 주변지반의 강성감소는 강성감소계수 β 로 표시된다.



<그림 5-4> 계산예

(1) 응력분배법(Stress Distribution Method)

응력은 터널 막장에서 3차원 아칭이 작용하는 영역인 또는 밖에 있는나에 따라 다르게 변한다. 단순화시킨 터널해석에 사용되는 2차원 단면의 위치는 <그림 5-3> 참조) 처음에는 막장의 원지반 내, 막장 전면 및 막장 후면 등 3개소이다. 이와 관련된 응력 계분배 곡선은 터널 막장의 앞, 뒤에서 발생하는 응력의 변화를 보여주고 있다. 이와 같이 터널 굴진에 따른 응력의 계분배는 터널막장으로부터 약간 떨어진 원지반 안에서 시작된다. <그림 5-3>의 곡선은 "응력 생의 정도는 터널의 내공변위와 일치한다."는 가정하에서 작성된 것이다. 즉, 변위가 "0" 인 곳은 터널굴진에 의한 응력의 계분배가 "0" 인 것을 의미하며, 최종변위는 최종분배 응력에서 발생함을 의미한다. 응력분배의 정도는 분배계수 σ 로 표시되며 <그림 5-2>에서 분배계수는 $\sigma 1 < \sigma 2 < 1.0$ 이며, "P"는 최종분배응력의 값으로 $\sigma 3 = 1.0$ 이다.



<그림 5-3> 3차원 터널 굴진의 2차원 해석

6. 해석결과

가. 개요

(1) 터널별 해석위치 및 유형

단면해석위치는 <표 6-1>과 같다.

<표 6-1> 터널별 단면해석 위치

지보패턴	해석위치 (STA.)	비고
I	0 km 920	
II	1 km 040	
III	0 km 880	
IV	0 km 840	
V	0 km 820	

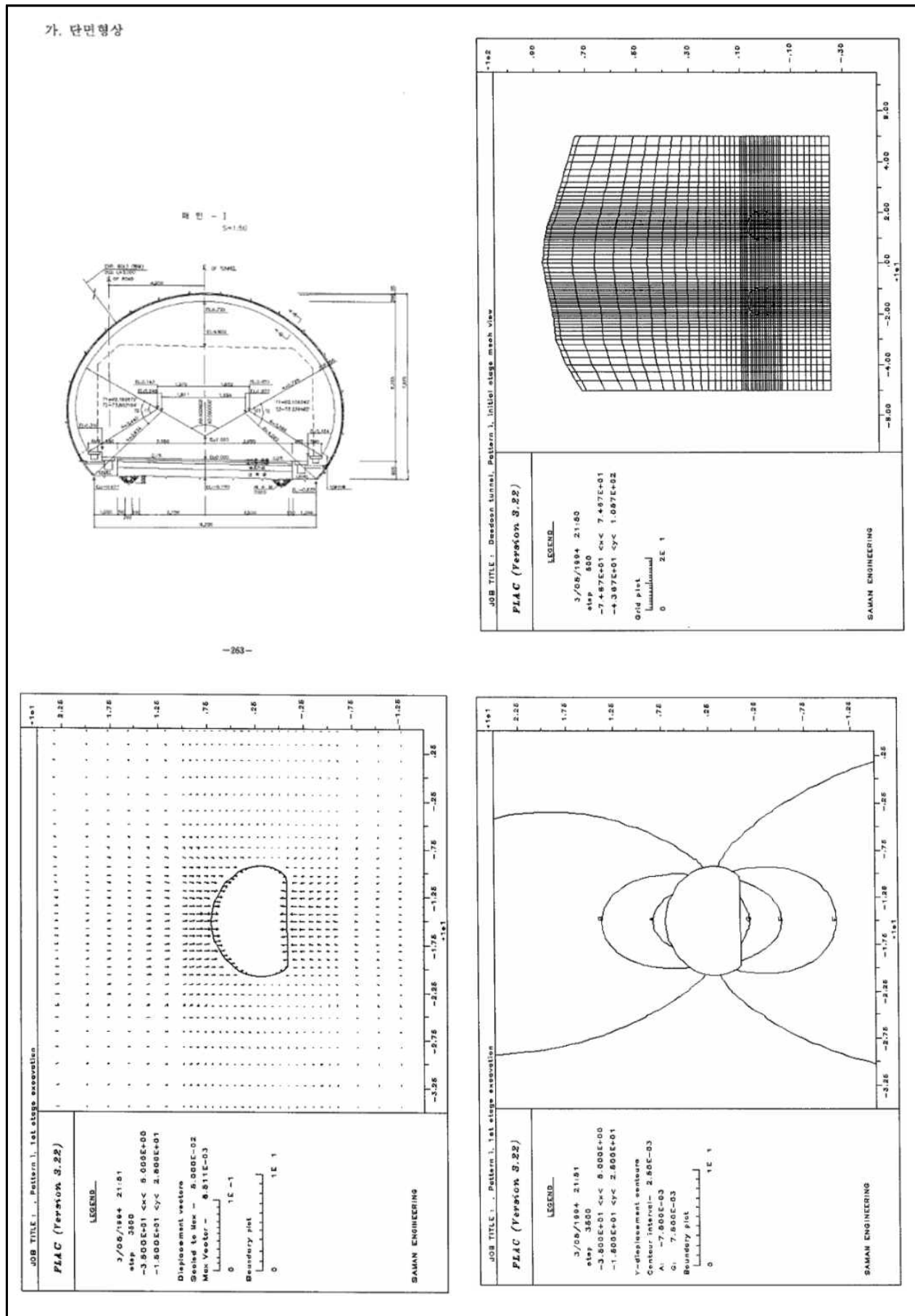
(2) 터널별 해석결과

(가) 터널별 해석결과

각 터널별 최종단계에서의 해석결과를 아래 <표 6-2>와 같이 요약할 수 있다.

<표 6-2> 각 터널별 해석결과(최종단계에서)

지보패턴	천단에서의 침하량 (mm)	-shotcrete의 최대응력 (t/m^2)	라볼트의 최대인장력 (ton)	비고
I	9,849	83,860	-	
II	11,680	92,440	0.482	
III	9,751	189,400	0.616	
IV	7,242	252,333	0.768	
V	9,205	253,350	1.111	



다. 토질조사 검토

본 터널의 설계 당시 3개소에 대한 시추조사를 실시하였으며, 토질조사보고서(문막~도계간 도로 확장 및 포장공사 토질조사보고서, 1994.05)를 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 시추조사 위치

조 사 지 역		공 번	조사측점 (STA. NO)	위 치 좌 표		표 고	비 고
				X (M)	Y (M)		
터 널 부		TB-1	0 + 980	419,522.5	266,652.8	154.52	중앙부
		TB-2	1 + 140	419,867.8	268,599.5	145.03	출구부
		TB-3	0 + 820	-	-	140.82	입구부
절 토 부		CB-1	2 + 860	419,796.5	268,457.4	49.30	
		CB-2	5 + 220	421,655.0	269,716.3	95.38	
교 량 부	사 작 교	B-1	1 + 760	419,977.5	267,388.9	75.27	
	대문I.C 교	B-1	2 + 880	419,796.5	268,457.4	49.52	
	동수 1 교	B-1	4 + 170	420,661.0	269,396.0	58.16	
	동수 2 교	B-1	4 + 550	421,008.0	269,546.7	56.59	
	동 수 교	B-1	4 + 646	421,092.6	269,561.7	56.57	
		B-2	4 + 690	421,145.2	269,575.6	56.90	
		B-3	4 + 740	421,194.2	269,585.5	56.13	
	반계 1 교	B-1	5 + 955	421,981.4	270,331.4	57.94	
		B-2	6 + 920	422,015.5	270,436.0	55.30	
	반계 2 교	B-1	6 + 240	422,099.6	270,628.1	54.33	
		B-2	6 + 270	422,104.5	270,636.7	54.36	
	반계 I.C교	B-1	6 + 395	422,173.7	270,740.8	55.09	
		B-2	6 + 428	422,194.0	270,766.7	54.68	

2) 시추조사 결과

4.2.2 터널부 지역 (TB-1공, TB-2공, TB-3공)

본 터널의 시추작업은 입구부(TB-3)와 출구부(TB-2), 중앙부(TB-1) 3곳에서 실시 하였다.

터널부(TB-3, TB-2, TB-1)는 대체로 상부로 부터 표토층, 연암층, 경암층으로 대별할 수 있다. 표토층은 0.3 - 0.9 m 층후를 보이며, 실트질 모래와 잔자갈로 구성되어 있고, 연암층은 1.1 - 3.1 m의 층후를 가지며 기반암인 흑운모 화강암으로 이루어져 있으며, 연암 하부로 갈수록 녹갈색-연녹색의 각섬석이 세맥상 내지 반정상으로 배태되어 있다. (TB-2공)

절리면을 따라서 적갈색 내지 황갈색의 산화물이 협재되어, 풍화면을 형성하고 있다. 풍화 및 절리의 발달로 굴진시 단주상, 세편상 코아로 회수되며, 3공의 T.C.R은 7 - 35 %이며, R.Q.D는 0 %이다.

경암층은 세립질 흑운모 화강암으로 이루어져 있으며, 주된 구성광물로는 석영, 장석, 흑운모, 조립질, 등립질인 석영, 장석과 세립상인 흑운모는 자형-반자형에 가까운 모양으로 산출된다.

상부에는 절리면을 따라서 적갈색 - 황갈색의 산화물이 소량 배태 되어 있으나, 하부로 갈수록 신선한 암을 대체로 유지하고 있다.

굴진시 절리의 영향등으로 단주상, 장주상 코아로 회수되며, T.C.R은 96 - 100%이며 R.Q.D는 60 - 73 % 내외로 대체로 양호한 편이다.

1) 터널 입구부 (TB-3공)

터널 입구부 지역은 협준한 계곡 상부인 STA.0 + 820에 위치하고 있다. 이 지역의 전반적인 지표지질조사 결과 산기슭과 계곡부근에서는 기반암인 세립질 흑운모 화강암이 풍화양상에 의해 절리와 균열이 부분적으로 발달하고 있으나 산정부근에서는 대체로 신선한 노암을 관찰할 수 있다.

지표지질조사 결과로 볼때 추정심도는 대체로 0.5M 정도의 표토층과 1.0M 정도의 연암층이, 그 하부로는 경암층이 분포하고 있을거라 추정되며, 터널 중앙부와 터널입구부가 비슷한 심도를 가질것으로 사료된다.

터널중앙부와 터널출구부에서 시추조사 결과 얻은 코아가 연암 심도까지는 절리 및 균열의 발달과 산화물의 배태로 풍화면을 형성하고 있고 그 하부에 갈수록 T.C.R은

96~100% R.Q.D는 60~70% 내외로 비교적 양호한 상태를 보이는 것으로 보아 터널입구 부에서도 이와 비슷한 양상을 가질것으로 추정된다.

2) 터널 출구부 (TB-2공)

터널 출구부(TB-2공)는 STA.1 + 140에 위치하고 있으며, 터널출구부 부근의 노두는 대체로 신선한 편이기는 하나 규칙적인 절리면이 발달하고 있으며, 국부적으로 Shear Joint에 의한 Shear Zone이 형성, 풍화대의 양상을보인다.

4.0m 층후의 표토와 연암층 하부에 세립질 흑운모화강암이 분포하며, 4.5 ~ 5.5 m와 18.0 ~ 26.0 m 심도 구간에는 연한 녹색색의 염기성 내지 중성 암맥이 관입되어 있으며, 이들 암맥류는 대부분 과상구조를 보이고 있다.

4.0 m에서 암맥이 관입한 26.0m 심도 부근까지는 대부분 구간의 R.Q.D치가 40 % 이내로 비교적 불량한 상태이고 26.0m 심도 하부는 29.0 ~ 32.0 m 구간과 34.0 ~35.0m 구간이 밀집된 절리의 발달에 의해 30 ~ 39 %의 비교적 불량한 R.Q.D치를 보이고 있으며, 기타구간은 52 ~ 71 %로 보통 - 비교적 양호한 R.Q.D치를 보이고 있다

3) 터널 중앙부 (TB-1공)

터널 중앙부(TB-1공)는 STA.0 + 980에 위치하고 있으며 0.6 m정도의 층후를 갖는 표토층은 실트질 모래와 자갈로 구성되어 있으며, 1.4 m정도의 연암층은 세립의 흑운모 화강암으로 이루어져 있다. 연암하부에는 절리면을 따라서 적갈색-황갈색의 산화물이 배태되어 풍화대를 형성하고 있다.

경암층은 세립질 흑운모로 이루어져 있으며, 상부에는 절리면을 따라서 적갈색-황갈색의 산화물이 배태되어 있으나 하부로 갈수록 대체로 신선한 암을 유지하고 있다.

2.0 ~ 7.7 m 심도구간은 절리의 발달에 의한 파쇄대가 협재 되어, R.Q.D가 10 ~ 32 %를 나타내나, 7.7 m 이하 심도 구간은 부분적으로 40 %내외의 R.Q.D 값을 갖는다. 그러나 기타구간은 50 ~ 72 % 범위로서 보통 - 비교적 양호한 상태를 보인다.

〈표 4.1〉

터널지역 지층 조사 통계표

(단위: M)

공 번	표 토 층	연 암 층	경 암 층	S.P.T (회)	비 고
TB - 2	0.90	3.10	31.00	-	출 구 부
TB - 3	0.30	1.10	30.60	-	중 앙 부
합 계	1.20	4.40	31.60	-	입 구 부

3.2.2 시설물 점검이력

대상시설물은 2종 시설물로서 준공이후 기준에 따라 정기안전점검 및 정밀안전점검, 성능평가 등을 지속적으로 실시해 왔으며, 기 점검 이력사항은 다음과 같다.

【표 3.2.1】 부평터널(하) 점검이력사항

번호	구분	기간	점검업체	등급	주요 점검 결과
1	정기안전 점검	2025-03-03 ~2025-05-30	자체수행	양호	- 갹문:재료분리 - 라이닝:타일탈락, 박락, 균열/누수, 균열/백태, 폐합균열, 보수부재균열등 - 배수로측구:상태양호 - 공동구:파손, 층분리, 박락및철근부식 - 갹구부옹벽:이격부누수, 박락, 재료분리, 이격, 박락및철근부식 - 사면갹구부배수로:이물질퇴적 - 공중이용하는부위 - 도로포장 : 차량주행성에 영향을 끼칠 수 있는 경미한 파손, 마모에 대한 보수가 필요한 상태 - 도로부 신축이음부 : 차량주행성에 영향을 끼칠 수 있는 경미한 파손에 대한 보수가 필요한 상태
2	정기안전 점검	2024-10-14 ~2024-12-13	자체수행	양호	· 갹문:재료분리 · 라이닝:타일탈락, 박락, 균열/누수, 균열/백태, 폐합균열, 보수부재균열등 · 배수로측구:상태양호 · 공동구:파손, 층분리, 박락및철근부식 · 갹구부옹벽:이격부누수, 박락, 재료분리, 이격, 박락및철근부식 · 사면갹구부배수로:이물질퇴적 · 공중이용하는부위 - 도로포장 : 접속부 망상균열, 스케일링, 균열, 파손 - 도로부 신축이음부 : 파손, 스폴링
3	정밀안전 점검	2024-03-21 ~2024-09-16	(주)신우기술	A등급	천단부/어깨부:균열, 보수부재균열, 박락, 들뜸 측벽:파손, 몰탈박락, 타일균열, 타일탈락, 타일파손 배수시설:덮개파손, 토사퇴적 갹문:상태양호 옹벽:조인트식생, 실란트탈락및이격 비탈면:상태양호 수로:파손, 이물질퇴적, 균열, 철근노출 공동구:덮개파손, 들뜸, 박락및철근노출 포장부:망상균열, 파손, 앵커돌출, 접속부아스콘망상균열 부속시설:소화기점등파손
4	정기안전 점검	2024-04-15 ~2024-06-30	자체수행	양호	· 갹문:재료분리 · 라이닝:타일탈락, 박락, 균열/누수, 균열/백태, 폐합균열, 보수부재균열등 · 배수로측구:상태양호 · 공동구:파손, 층분리, 박락및철근부식 · 갹구부옹벽:이격부누수, 박락, 재료분리, 이격, 박락및철근부식 · 사면갹구부배수로:이물질퇴적 · 공중이용하는부위 - 도로포장 : 접속부 망상균열, 스케일링, 균열, 파손 - 도로부 신축이음부 : 파손, 스폴링

【표 3.2.1】 부평터널(하) 점검이력사항(계속)

번호	구분	기간	점검업체	등급	주요 점검 결과
5	정기안전 점검	2023-10-15 ~2023-11-30	자체수행	양호	· 갯문:재료분리 · 라이닝:타일탈락,박락,균열/누수,균열/백태,폐합균열,보수부재균열등 · 배수로측구:상태양호 · 공동구:파손,충분리,박락및철근부식 · 갯구부옹벽:이격부누수,박락,재료분리,이격,박락및철근부식 · 사면갯구부배수로:이물질퇴적 · 공중이이용하는부위 - 도로포장 : 접속부 망상균열, 스케일링, 균열/파손, 파손 - 도로부 신축이음부 : 파손, 스폐링
6	정기안전 점검	2023-04-11 ~2023-06-12	자체수행	양호	천정부(균열, 백태, 박락 등), 측벽부(타일 균열, 파손), 교면포장(파손, 균열, 마모), 배수로(이물질퇴적)
7	정기안전 점검	2022-10-05 ~2022-12-09	자체수행	보통	포장파손
8	정밀안전 점검	2022-04-15 ~2022-09-22	(주)위드이앤오	B등급	-라이닝:균열($0.1 < cw \leq 0.3mm$),망상균열($0.1 < cw \leq 0.3mm$),들뜸및박락($d=10mm$),들뜸($d=10mm$),박락($d=10mm$),균열보수부백태,보수부재균열,재료분리,철근노출,타일균열,타일파손 -갯문및옹벽:폼타이홀누수,재료분리,식생 -배수시설:덮개파손 -주변사면및배수로:그레이팅망실,이격,균열,철근노출 -공동구:덮개파손,이물질적치,박락,박락및철근노출,들뜸,재료분리,파손 -포장부:접속포장망상균열,포장마모및골재노출,토사퇴적,포장균열,포장마모,포장파손,포장패임,앵커돌출,포장들뜸 -횡갱:상태양호 -부속시설:소화전등불량 -공중이이용하는부위:접속포장망상균열,포장마모및골재노출,토사퇴적,포장균열,포장마모,포장파손,포장패임,앵커돌출,포장들뜸,공동구덮개파손,배수로덮개파손
9	정기안전 점검	2022-01-01 ~2022-06-30	자체수행	양호	지속관찰
10	정기안전 점검	2021-07-01 ~2021-12-31	자체수행	양호	지속관찰
11	정기안전 점검	2021-01-01 ~2021-06-30	자체수행	양호	지속관찰

【표 3.2.1】 부평터널(하) 점검이력사항(계속)

번호	구분	기간	점검업체	등급	주요 점검 결과
12	정기안전 점검	2020-07-01 ~2020-12-31	자체수행	양호	지속관찰(보수예정)
13	정기안전 점검	2020-01-01 ~2020-06-30	자체수행	양호	지속관찰(보수예정)
14	정밀안전 점검	2019-08-28 ~2020-02-23	대진컨설턴트주식회사	B등급	*본선터널 - 천단부 : 균열(폭0.2mm이하), 박리, 박락, 균열부 백태, 재료분리, 철근노출 등 - 벽체 : 타일균열, 타일탈락, 타일파손 - 갭구 : 재료분리 *기타시설 - 포장면 : 균열, 파손, 박리/박락, 패임, 마모 - 공동구 : 덮개파손, 덮개망실, 박리, 박락
15	2중성능 평가	2019-08-28 ~2020-02-23	대진컨설턴트주식회사	B등급	-안전성능평가:구조적안전성을확보하고있으며,중대결함이나구조적손상은발생하지않았으나,국부적으로발생된균열및열화손상에대한보수가필요함. -내구성능평가:염화물,탄산화및콘크리트품질등의열화진전항목평가결과,콘크리트는대부분건전한것으로평가됨. -사용성능평가:포장상태및방재시설등은우수하나,일부조명시설이미점등되는일부개소가있으며,노면휘도는기준에못미쳐e등급으로산정되었음. -종합성능등급:B등급(양호)으로평가됨.
16	정기안전 점검	2019-07-01 ~2019-12-31	자체수행	양호	지속관찰(보수예정)
17	정기안전 점검	2019-01-01 ~2019-06-30	자체수행	양호	지속관찰(보수예정)
18	정기안전 점검	2018-10-01 ~2018-12-31	자체수행	양호	지속관찰
19	정기안전 점검	2018-04-01 ~2018-06-30	자체수행	양호	지속관찰
20	정기안전 점검	2017-10-01 ~2017-12-31	자체수행	양호	지속관찰
21	정기안전 점검	2017-04-01 ~2017-06-30	자체수행	양호	지속관찰
22	정기안전 점검	2016-10-01 ~2016-12-31	자체수행	양호	지속관찰

【표 3.2.1】 부평터널(하) 점검이력사항(계속)

번호	구분	기간	점검업체	등급	주요 점검 결과
23	정밀안전 점검	2016-06-01 ~2016-10-28	(주)신우기 술	A등급	외관조사결과기존점검시확인된주요부재인천단부 균열부에대하여보수가완료되었으며,기타타일균열, 포장파손,덮개파손등의기존손상이잔재되어있는상 태이다.기존점검전부터관리되어오던손상과동일한 형태의박리,타일박락등의손상이확인되었으나,일반 적인손상으로서진행및시급을요하는손상은없는상 태이며,사용성및내구성확보를위한적절한보수가필 요한것으로판단된다.일부손상에대해서는적절한보 수를실시하는것이바람직할것으로판단되며,향후정 기적인점검과지속적인유지관리를실시한다면시설 물의내구성과사용성을확보할수있을것으로판단된 다. -본선라이닝 천단부:박리 벽체:타일파손및균열,타일탈락 -터널주변 배수상태:양호,비탈면(주변사면)및수로:양호 갱구및옹벽:양호 공동구:덮개파손,덮개망실,박리및박락 배수로:이토적체 전기시설및기타조명시설:일부점멸 긴급시설:양호 콘크리트포장:파손및균열,박리및박락,마모및패임
24	정기안전 점검	2016-04-01 ~2016-06-30	자체수행	양호	지속관찰
25	정기안전 점검	2015-10-01 ~2015-12-31	자체수행	양호	지속관찰
26	정기안전 점검	2015-04-01 ~2015-06-30	자체수행	양호	지속관찰
27	정기안전 점검	2014-07-01 ~2014-12-31	자체수행	양호	지속관찰
28	정기안전 점검	2014-01-01 ~2014-06-30	자체수행	양호	지속관찰
29	정기안전 점검	2013-11-01 ~2013-12-31	자체수행	양호	지속관찰
30	정밀안전 점검	2013-04-30 ~2013-07-28	(주)유원이 엔씨	A등급	천단부 균열, 보수부 재균열, 망상균열, 콘크리트 박리, 타일균열, 탈락, 파손, 포장 균열, 박리, 박락, 파손, 패임, 표면마모, 골재노출, 공동구 콘크리트 박리, 파손, 박락, 보수부 박리, 덮개파손
31	정기안전 점검	2013-05-01 ~2013-06-30	자체수행	양호	지속관찰
32	정기안전 점검	2011-12-19 ~2011-12-19	수원국도관 리사무소	양호	양호

【표 3.2.1】 부평터널(하) 점검이력사항(계속)

번호	구분	기간	점검업체	등급	주요 점검 결과
33	정밀안전 점검	2011-03-25 ~2011-06-22	주식회사건 영이앤씨	A등급	보수공사가기시행되어전반적인터널의상태는양호 한상태이다. 내구성조사 결과 설계기준을 만족하고 있는 것으로 확인되었으며, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없는 상태
34	정기안전 점검	2011-06-16 ~2011-06-16	수원국도관 리사무소	양호	터널조명등 조도불량
35	정기안전 점검	2010-12-14 ~2010-12-14	수원국도관 리사무소	양호	터널조명등 조도불량
36	정기안전 점검	2010-06-21 ~2010-06-21	수원국도관 리사무소	양호	공동구 모서리 파손, 터널조명등 조도불량
37	정기안전 점검	2010-06-21 ~2010-06-21	수원국도관 리사무소	양호	공동구 모서리 파손, 터널조명등 조도불량
38	정기안전 점검	2009-11-17 ~2009-11-17	수원국도관 리사무소	양호	공동구 모서리 파손, 포장 국부적파손, 터널조명등 조도불량
39	정밀안전 점검	2009-03-23 ~2009-06-21	영동이앤지 (주)	B등급	공동구 덮개 및 모서리 파손, 포장 균열 박리 마모 다수, 조명불량, 전반적으로 보수 완료, 양호한 상태임.
40	정기안전 점검	2009-06-15 ~2009-06-15	수원국도관 리사무소	양호	공동구 모서리 파손, 국부적파손
41	정기안전 점검	2008-11-05 ~2008-11-05	수원국도관 리사무소	양호	대체적 양호
42	정기안전 점검	2008-06-11 ~2008-06-11	수원국도관 리사무소	양호	대체적 양호
43	정기안전 점검	2007-12-06 ~2007-12-06	수원국도유 지건설사무 소	양호	대체적 양호
44	정밀안전 점검	2007-08-27 ~2007-10-19	서경구조안 전진단(주)	A등급	전체적으로 양호한 상태이며 라이닝 천단부, 벽체부 및 공동구에 발생되어 있는 손상부에 대한 보수를 시행한 후 주기적인 점검 및 관찰을 실시한다면, 본 구조물의 공용중 안전성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.
45	정기안전 점검	2007-05-23 ~2007-06-07	—	양호	이상없음
46	정기안전 점검	2006-11-23 ~2006-11-23	수원국도유 지건설사무 소	양호	—
47	정기안전 점검	2006-06-15 ~2006-06-15	수원국도유 지건설사무 소	양호	전반적으로 양호한 상태
48	정기안전 점검	2005-10-27 ~2005-10-27	—	양호	전반적으로 양호한 상태

【표 3.2.1】 부평터널(하) 점검이력사항(계속)

번호	구분	기간	점검업체	등급	주요 점검 결과
49	정밀안전 점검	2005-02-01 ~2005-04-01	(주)하이콘 엔지니어링	B등급	본 터널은 상태등급 산정결과 각 경간의 환산결함도지수는 0.26로서, 산정기준에 의해 대상터널의 상태등급은 “B” 등급에 해당되는 것으로 조사되었다.
50	정기안전 점검	2004-11-04 ~2004-11-04	수원국도유 지건설사무 소	양호	전반적으로 양호한 상태
51	정기안전 점검	2004-06-14 ~2004-06-14	수원국도유 지건설사무 소	양호	전반적으로 양호한 상태
52	정밀안전 점검	2003-02-13 ~2003-03-29	케이에스엠 기술(주)	B등급	—
53	정기안전 점검	2002-11-04 ~2002-11-18	자체수행	양호	일부 조명등 교체 필요
54	정기안전 점검	2002-05-15 ~2002-05-29	—	양호	육안점검결과 특별한 이상없음
55	정기안전 점검	2001-12-05 ~2001-12-18	—	양호	육안점검결과 특별한 이상없음
56	정밀안전 점검	2001-03-21 ~2001-06-18	비엔티엔지 니어링(주)	B등급	터널천단부의 균열은 보수가 필요함
57	정기안전 점검	2000-11-21 ~2000-12-13	—	양호	육안점검결과특별한 이상없음
58	정기안전 점검	2000-05-30 ~2000-06-22	—	양호	육안점검결과특별한 이상없음

3.2.3 전차 성능평가 실시결과(2020년 02월)

【표 3.2.2】 부평터널(하) 전차 2종성능평가 사항

구 분	2종성능평가 결과
점검개요	· 점검기관 : 대진건설터트주식회사 · 점검기간 : 2019. 08. 28. ~ 2020. 02. 23.
외관조사	· 부평터널(하)에 각 부재의 외관조사 결과, 라이닝 천단부에 균열, 박리, 박락, 균열부 백태, 철근노출, 라이닝 벽체부에 타일 균열, 타일 파손, 타일 탈락, 공동구에 덮개 파손, 박리, 박락, 포장에 콘크리트 균열, 마모, 갭문에 재료분리가 발생된 것으로 조사되었다.
성능평가 결과	· 외관조사에 의한 상태안전성능 평가 결과와 구조검토에 의한 안전성능 평가 결과와 내구성능 및 사용성능 평가를 종합하여 검토한 결과, 부평터널(하)의 종합평가 결과는 “일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준” 인 『B등급(양호)』로 평가되었다.
보수·보강	· 표면처리, 단면보수, 단면보수(방청), 타일재시공
종합결론	· 부평터널(하)에 대한 제2종 성능평가 결과, 종합성능평가 등급은 “일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준” 인 B등급(양호)』로 평가되었다. - 대상 터널은 성능목표 등급은 B등급으로 평가되어, 터널 시설물 성능등급 향상을 위해 반드시 조치하여야 하는 우선조치 대상은 없는 것으로 확인되었다. 다만, 기적인측면에서 우선순위지수 산정결과에 따라 라이닝에 대한 보수를 실시하고 주의관찰을 통한 유지관리를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 분석되었다. - 관리주체의 유지관리계획에 따라 우선순위에 대한 보수실시와 중점관리사항에 대한 지속적인 점검을 실시하면 향후 구조적 안전성 및 내구성, 사용성 등의 종합적인 성능을 유지하는데 문제가 없을 것으로 판단된다.

3.2.4 전차 정밀안전점검 실시결과(2024년 09월)

【표 3.2.3】 부평터널(하) 전차 정밀안전점검 사항

구 분	정밀안전점검 결과
점검개요	· 점검기관 : 시설물안전연구원(주) · 점검기간 : 2024. 03. 21. ~ 2024. 09. 16.
외관조사	· 천단부/어깨부 : 균열, 보수부 재균열, 박락, 들뜸 · 측벽 : 파손, 몰탈 박락, 타일 균열, 타일 탈락, 타일 파손 · 배수시설 : 덮개 파손, 토사퇴적 · 갭문 : 상태양호 · 옹벽 : 조인트 식생, 실란트 탈락 및 이격 · 비탈면 : 상태양호 · 수로 : 파손, 이물질 퇴적, 균열, 철근노출 · 공동구 : 덮개 파손, 들뜸, 박락 및 철근노출 · 포장부 : 망상균열, 파손, 앵커돌출, 접속부 아스콘 망상균열 · 부속시설 : 소화기 점등파손
내구성조사	· 반발경도 시험 비교 결과, 측정값의 소폭 차이가 있으나, 기 점검 및 금회 점검 모두 설계기준강도 이상으로 측정되어 공용연수 증가에 따른 강도저하는 없는 것으로 판단됨. · 탄산화 시험 비교 결과, 기 점검 및 금회 점검 모두 잔여피복이 30.0mm으로 측정되어 탄산화에 의한 철근부식 우려는 없는 것으로 분석됨.
상태등급	· 부평터널(하)의 안전등급은 문제점이 없는 최상의 상태인 “A” 등급으로 평가되었다.
보수·보강	· 표면보수, 주입보수, 단면보수, 단면보수(방청), 덮개 재설치, 청소, 앵커적출
종합결론	· 천단부 및 어깨부에서 발생한 균열, 망상균열, 보수부 재균열, 시공이음부 들뜸 등의 손상은 시공 및 품질관리 미흡, 공용기간 증가에 의한 경년열화 등에 기인한 비구조적 손상으로 판단되며, 보수의 시급성이 요구되는 손상은 없는 상태이나, 균열(0.3mm이상), 시공이음부 들뜸은 내구성 및 기능성 확보 차원의 적절한 보수가 필요할 것으로 판단된다. · 일부 손상에 대해서는 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단되며, 터널의 전체적인 상태는 특별한 문제점이 없는 건전한 상태인 것으로 확인되었다. 향후 정기적인 점검과 지속적인 유지관리를 실시한다면 시설물의 내구성과 사용성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. · 본 과업대상 시설물인 부평터널(하)는 일부 부재에서 손상 및 결함사항이 발생된 것으로 조사되었으나 구조적 안전성에는 문제가 없는 일반적인 손상으로 판단되며, 본 보고서의 보수·보강 방안 및 유지관리 방안을 참조하여 내구성 확보를 위한 보수를 실시하고 지속적인 유지관리가 이루어진다면 현시점에서 정밀안전진단 및 사용제한 조치는 필요하지 않은 것으로 판단된다.

3.2.5 시설물 보수 이력

시설물통합정보관리시스템(FMS) 및 관리주체 보수·보강 이력사항에 입력된 보수·보강이력은 다음과 같다.

【표 3.2.4】 부평터널(하) 보수이력사항

NO	공사명	공사 구분	보수보강부위	설계자	시공자
	공사기간		공사내역	공사비(천원)	책임기술자
1	국도42호선 부평터널 안전시설 설치공사	보수	—	(주)동명기술공단 종합건축사사무 소	(주)신우안전
	2024-03-22 ~ 2024-06-14		그루빙	106,174	서영성
2	국도45호선 만세터널(상) 등 14개소 환경정비공사	보수	—	(주)제일엔지니어 링	(유)제이피원
	2024-03-18 ~ 2024-09-10		터널청소 등기구청소	50,285,317	윤선영
3	국도42호선 여주터널 등 차선도색 보수공사	보수	—	현성산업(주) 김희문	—
	2022-11-01 ~ 2022-12-22		차선도색	14,352	(주)KG엔지니어링 종합건축사사무소
4	국도42호선 여주터널 등 차선도색 보수공사	보수	—	현성산업(주) 김희문	—
	2022-11-01 ~ 2022-12-22		차선도색	14,352	(주)KG엔지니어링 종합건축사사무소
5	국도42호선 오천터널 등 3개소 재방송설비 개선공사	보수	—	(주)하남정보통신 이승희	—
	2022-09-29 ~ 2022-12-26		라디오재방송	44,552	(주)KG엔지니어링 종합건축사사무소
6	국도42호선 오천터널 등 3개소 재방송설비 개선공사	보수	—	(주)하남정보통신 이승희	—
	2022-09-29 ~ 2022-12-26		라디오재방송	44,552	(주)KG엔지니어링 종합건축사사무소
7	국도42호선 오천터널 등 3개소 재방송설비 개선공사	보수	—	(주)하남정보통신 이승희	—
	2022-09-29 ~ 2022-12-26		라디오재방송	44,552	(주)KG엔지니어링 종합건축사사무소
8	국도42호선 부평터널 외 1개소 전기 시설 개선공사	보수	—	세원엔지니어링 (주)	화은전기
	2021-11-17 ~ 2021-12-28		LED 터널등기구 100W 70개	19,935	(주)KG엔지니어링 종합건축사사무소
9	국도45호선 만세터널 등 5개소 비상전화설비 개선 공사	보수	—	백강, 호성	(주)케이비글로벌미 디어
	2021-03-31 ~ 2021-05-28		비상전화설치	31,148	KG엔지니어링 종합건축사사무소
10	국도42호선 부평터널 등 2개소 가로등 및 터널조명 제어반 케이블 공사	보수	—	백강, 호성	(주)대림
	2021-03-12 ~ 2021-06-24		가로등케이블교체	34,000	KG엔지니어링 종합건축사사무소

【표 3.2.4】 부평터널(하) 보수이력사항(계속)

NO	공사명	공사 구분	보수보강부위	설계자	시공자
	공사기간		공사내역	공사비(천원)	책임기술자
11	국도42호선 부평터널 등 2개소 가로등 및 터널조명 제어반 케이블 공사	보수	-	백강, 호성	(주)대림
	2021-03-12 ~ 2021-06-24		가로등케이블교체	34,000	KG엔지니어링 종합건축사사무소
12	국도42호선 부평터널 등 시선유도표지등 설치공사	보수	-	수원국토	하나전기
	2020-08-03 ~ 2020-10-20		시선유도시설 1식	22,069	(주)KG엔지니어링 종합건축사사무소
13	국도42호선 부평터널 등 안전시설 설치공사	보수	-	수원국토	(주)남양이엔씨
	2020-03-25 ~ 2020-05-23		종그루빙 1식	15,466	(주)KG엔지니어링 종합건축사사무소
14	국도38호선 청미교 외 3개소 방호울타리 설치공사	보강	-	수원국토	(주)부경산업
	2015-06-29 ~ 2015-11-20		방호울타리 정비 = 노측(여주방향) : 30.0m	772	(주)경원엔지니어링 건축사무소
15	국도38호선 숙성교외 9개소 시설물보수공사	보수	-	수원국토	동일건설(주) 정기용
	2013-10-22 ~ 2013-12-16		-	206,600	동부엔지니어링(주) 최병선
16	미등록	기타	공동구, 교대 조인트 누수	수원국토	
	2004-06-02 ~ 2004-07-23		부분보수	0	마운호
17	미등록	보수	조명시설	홍경표	(주)한일전기통신
	2002-07-19 ~ 2002-08-14		조명등(저압나트륨램프) 교체	10,000	정택수

3.2.6 시설물의 내진설계 여부 확인

【표 3.2.5】 내진설계 여부 확인

내진설계 대상 유무		내진설계 적용 유무		내진성능평가 실시 유무		내진보강 유무	
불명		불명		불명		불명	
· 시설물 관리대장(FMS)							
조종장내	내진설계 대상 유무	내진설계 적용 유무	적용내진설계기준	내진성능평가 실시 유무	내진보강 유무		
	불명	불명		불명	불명		

3.2.7 시설물의 용도변경 및 하중변화 여부 확인

FMS(시설물정보종합관리시스템) 상에 용도변경 및 하중변화 이력은 없는 것으로 확인되었다.

3.2.8 수집자료 검토결과 및 점검방향 설정

구 분	수집 자료	자료분석 결과	진단과업 진행방향
건 설 관 련 자 료	◇ 준공도서 - 지반조사보고서 - 수치해석보고서 - 라이닝 구조계산서 - 준공도면	◇ 구조계산서 및 준공도면은 설계당시 기준에 준하여 작성된 것으로 확인됨 ◇ 주요 설계변경 내용 및 시공시 문제점이 없는 것으로 파악됨	◇ 현장조사 시 부재치수를 실측하여 준공도면과 비교·검토함 ⇒ 치수가 상이할 경우 도면을 재작성하며 실측치를 구조계산에 반영 ⇒ 치수가 동일할 경우 준공도면을 기준으로 과업 진행
유 지 관 리 자 료	◇ 기 성능평가 보고서 ◇ 기 정밀안전점검 보고서 ◇ 보수·보강 이력 - 시설물 관리대장 - 시설물정보관리종합시스템 보수 및 점검이력	◇ 천단부/어깨부 균열, 보수부 균열, 들뜸 등 ◇ 배수시설 덮개파손, 토사퇴적 ◇ 배수로 이물질 퇴적 ◇ 공동구 들뜸, 박락, 철근노출 ◇ 포장 앵커 돌출 ◇ 내구성 조사결과, 설계기준을 만족하고 있는 상태로 확인됨 ◇ 2024년 안전시설 설치공사 ◇ 2021년 터널 등기구 공사	◇ 전회 점검결과와 금회 점검결과를 비교·검토하여 추가 손상 및 진전 여부를 확인하여 대책방안 마련 ◇ 전회 점검결과와 비교·검토하여 내구성 저하 여부 확인 ◇ 구조물의 제원변경확인 및 추가손상 발생에 대한 안정성 확보여부 확인 ◇ 보수부 상태 확인

3.3 현장조사

3.3.1 개요

대상시설물에 대한 자료수집 및 현장조사결과를 토대로 정밀조사를 실시하기 위하여 고소차를 이용한 근접조사를 원칙으로 시행하였으며, 점검 망치를 이용한 타격조사를 실시하여 공동 및 박리, 층분리 발생여부를 확인 및 제거를 실시하였다.

가. 장비사용 현황

Span번호	조사방법 및 접근성	조사기간	비고
S1~S51	도보, 고소점검차	2025.04.09	
			
도보조사 전경		고소점검차를 이용한 근접조사	
			
교통통제 전경		터널 라이닝 비파괴시험	

【그림 3.3.1】 근접조사를 위한 장비 사용 전경

나. 터널 구간 분할

성능평가를 위한 외관조사, 비파괴 시험, 시설물의 상태평가 등을 효과적으로 수행하기 위하여 측정분할 또는 구간분할 작업은 필수적인 항목이다. 터널 내에 측정표시 또는 구간이 명확하게 구분되어 있지 않는 경우는 구간분할에 따른 오차를 최소화할 수 있도록 구분되어야 하며 통상적으로 현장에서 직접 확인이 가능한 시공(신축)이음부를 기준으로 분할하는 것이 타당하다. 본 터널은 446.0m 터널로써 구조물의 형식은 다음 그림과 같이 총 51SPAN 구간으로 분할하였다. 또한, 상태평가를 위한 쉬트(Sheet) 구분을 하였고, 그 결과는 [표 3.3.1]에 수록하였다.

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
개착구간	무근구간								
S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20
무근구간									
S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30
무근구간									
S31	S32	S33	S34	S35	S36	S37	S38	S39	S40
무근구간									
S41	S42	S43	S44	S45	S46	S47	S48	S49	S50
무근구간									
S51									
개착구간									

【그림 3.3.2】 Span별 시공현황

【표 3.3.1】 구간분할

구분	쉬트 (Sheet)	스판 (Span)	거리 (m)	누적 (m)	구분	쉬트 (Sheet)	스판 (Span)	거리 (m)	누적 (m)
개착구간	Sh1	S1	7.5	7.5	무근구간	Sh11	S29	8.5	253.0
무근구간	Sh2	S2	9.0	16.5			S30	9.0	262.0
		S3	9.0	25.5			S31	8.5	270.5
		S4	9.0	34.5		Sh12	S32	9.0	279.5
	Sh3	S5	8.5	43.0			S33	9.0	288.5
		S6	9.0	52.0			S34	8.5	297.0
		S7	8.5	60.5		Sh13	S35	8.5	305.5
	Sh4	S8	9.0	69.5			S36	9.0	314.5
		S9	9.0	78.5			S37	9.0	323.5
		S10	9.0	87.5		Sh14	S38	8.5	332.0
	Sh5	S11	8.5	96.0			S39	9.0	341.0
		S12	8.5	104.5			S40	9.0	350.0
		S13	9.0	113.5		Sh15	S41	9.0	359.0
	Sh6	S14	9.0	122.5			S42	8.5	367.5
		S15	8.5	131.0			S43	9.0	376.5
		S16	9.0	140.0		Sh16	S44	8.5	385.0
	Sh7	S17	8.5	148.5			S45	9.0	394.0
		S18	8.5	157.0			S46	9.0	403.0
		S19	8.5	165.5		Sh17	S47	9.0	412.0
	Sh8	S20	9.0	174.5			S48	9.0	421.0
		S21	9.0	183.5	Sh18	S49	9.0	430.0	
		S22	8.5	192.0		S50	9.0	439.0	
	Sh9	S23	8.5	200.5	개착구간	Sh19	S51	7.0	446.0
		S24	9.0	209.5	-				
		S25	9.0	218.5					
	Sh10	S26	9.0	227.5					
		S27	8.5	236.0					
		S28	8.5	244.5					

※ 철근, 무근구간 분할은 자료미비로 전차자료를 참고하였음

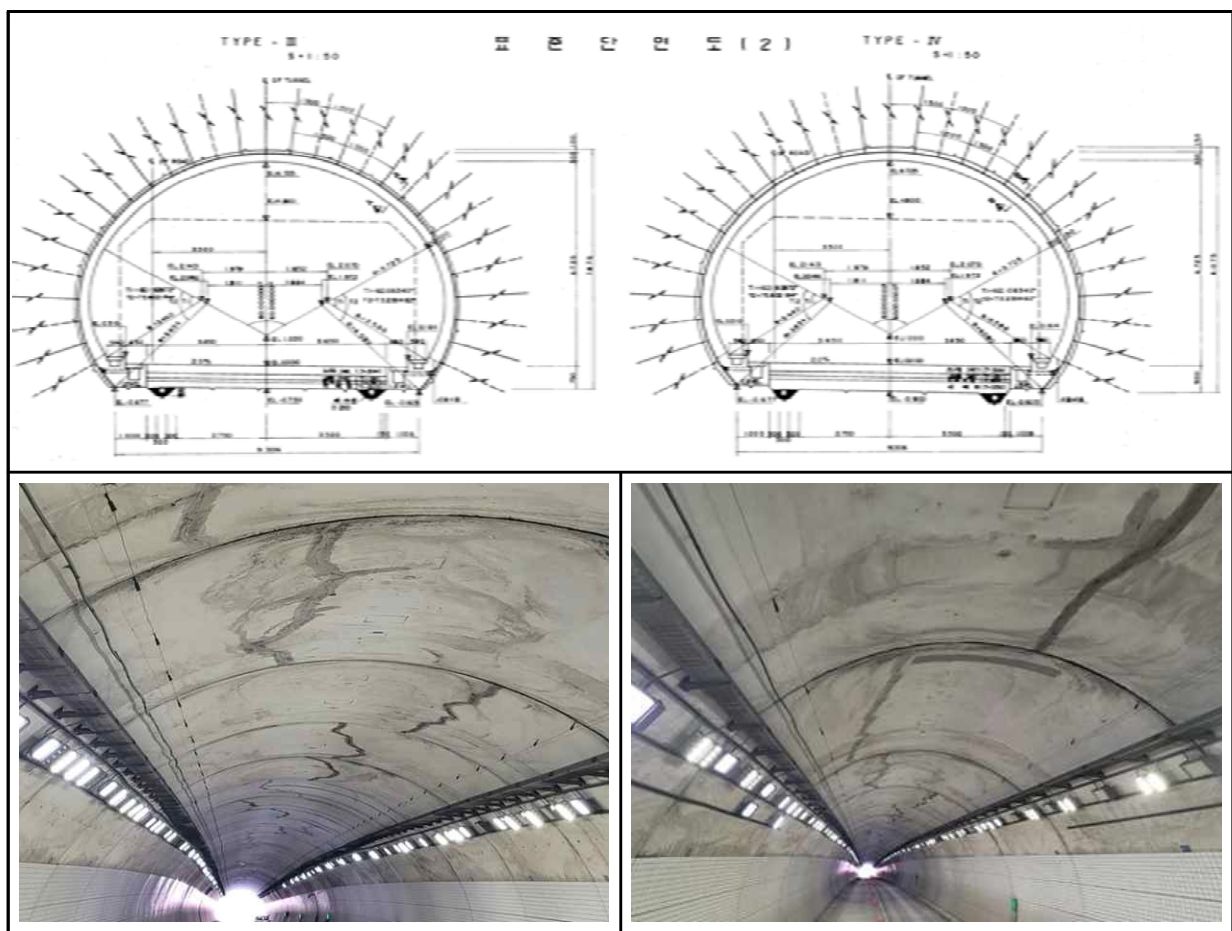
3.3.2 외관조사 결과

가. 기본시설물(라이닝, 갱문, 터널주변)

1) 천장부

본 터널의 라이닝 두께는 350mm이며, 천장부 외관조사시 교통통제 후 고소차를 이용한 근접조사를 실시하였다. 본 터널은 시·중점 개착구간은 철근보강이 되어 있는 상태이며, 그 외의 구간은 무근으로 설계되어 있다.

점검시 콘크리트 균열 및 누수여부, 박리, 박락, 철근노출, 배부름 및 변형 등에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.



【사진 3.3.1】 천장부 전경

(1) 조사결과

- 천장부에 대한 현장조사 결과, 균열 및 보수부 채균열(0.3mm미만, 이상), 들뜸, 박락 등이 조사되었다.

【표 3.3.2】천장부 손상현황

구분	균열 (0.3mm미만) (m/개소)		균열 (0.3mm이상) (m/개소)		보수부 재균열 (0.3mm미만) (m/개소)		보수부 재균열 (0.3mm이상) (m/개소)		들뜸 (㎡/개소)		박락 (㎡/개소)	
Sh1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh2	0.30	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh3	7.00	2	-	-	-	-	-	-	0.02	1	-	-
Sh4	-	-	-	-	-	-	23.50	3	-	-	-	-
Sh5	-	-	-	-	-	-	26.00	3	-	-	-	-
Sh6	-	-	-	-	5.00	1	16.00	2	0.01	1	0.03	1
Sh7	0.80	1	-	-	5.00	1	8.00	1	-	-	-	-
Sh8	-	-	-	-	4.00	1	8.00	1	-	-	0.04	2
Sh9	4.40	2	-	-	4.00	1	-	-	-	-	-	-
Sh10	1.50	1	-	-	2.50	1	-	-	0.01	1	-	-
Sh11	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	1	-	-
Sh12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh13	-	-	-	-	5.00	1	-	-	-	-	-	-
Sh14	1.50	1	3.00	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh16	6.90	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh17	-	-	9.00	1	9.00	1	-	-	-	-	-	-
Sh18	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	1	-	-
Sh19	1.00	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
합계	23.40	13	12.00	2	34.50	7	81.50	10	0.08	5	0.07	3

			
현 황	■ S04 천장부 균열(0.3mm미만)	현 황	■ S05 천장부 들뜸
원 인	■ 건조수축, 온도변화 등	원 인	■ 거푸집 조기탈거, 온도변화 등
대 책	■ 표면처리	대 책	■ 단면보수
			
현 황	■ S09 천장부 보수부 재균열(0.3mm이상)	현 황	■ S18 천장부 보수부 재균열(0.3mm이상)
원 인	■ 건조수축, 온도변화 등	원 인	■ 건조수축, 온도변화 등
대 책	■ 주입보수	대 책	■ 주입보수
			
현 황	■ S19 천장부 박락	현 황	■ S38 천장부 균열(0.3mm이상)
원 인	■ 거푸집 조기탈거, 온도변화 등	원 인	■ 건조수축, 온도변화 등
대 책	■ 단면보수	대 책	■ 주입보수

【사진 3.3.2】 천장부 손상현황

(2) 기 점검 결과 비교

- 24년 정밀안전점검과 비교한 결과, 기존손상인 균열 및 재균열(0.3mm미만, 이상) 들뜸, 박락 등이 확인되었으며, 손상의 진전은 없는 것으로 조사되었다.

【표 3.3.3】 천장부 기 점검 결과 비교

구분	손상 내용	단위	2024년 정밀안전점검		2025년 2중성능평가		증·감	비고
			물량	개소	물량	개소		
천장부	균열(0.3mm미만)	m	23.40	13	23.40	13	- -	변동없음
	균열(0.3mm이상)	m	12.00	2	12.00	2	- -	변동없음
	보수부 재균열(0.3mm미만)	m ²	34.50	7	34.50	7	- -	변동없음
	보수부 재균열(0.3mm이상)	m ²	81.50	10	81.50	10	- -	변동없음
	들뜸	m ²	0.08	5	0.08	5	- -	변동없음
	박락	m ²	0.07	3	0.07	3	- -	변동없음

(3) 검토의견

- 천장부에서 조사된 균열 및 보수부 재균열(0.3mm미만, 이상)의 경우 콘크리트 건조수축, 온도 변화, 거푸집 조기탈거, 라이닝 두께차이로 인한 응력 불균형, 보수미흡 등에 의해 발생한 비구조적인 손상으로 판단되며, 내구성 확보 차원에서 표면처리, 주입보수를 통한 유지관리가 요구된다.
- 들뜸, 박락의 경우 거푸집 조기탈거 및 이동시 충격, 라이닝 폼 유압재 압력의 응력불균형, 온도 변화, 공용기간 증가 등의 복합적인 원인에 의한 손상으로 판단되며, 손상부 탈락에 의한 통행차량의 안전을 위협할 수 있으므로, 제거 후 단면보수 등의 조치가 필요하다.

2) 측벽부

본 터널의 측벽부는 미관 및 조명효과를 증대시켜 시거환경 확보와 차량 운전자의 사고 예방을 목적으로 타일마감으로 시공되었고, 교통통제 후 도보를 이용한 조사를 실시하였다.

점검시 콘크리트 균열 및 누수여부, 박리, 박락, 배부름 및 변형, 타일손상 등에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.



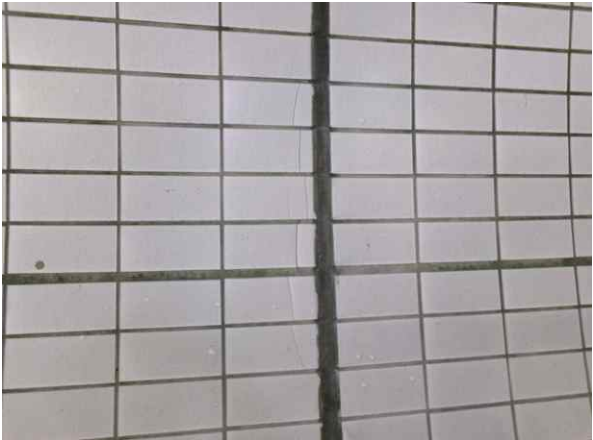
【사진 3.3.3】측벽부 전경

(1) 조사결과

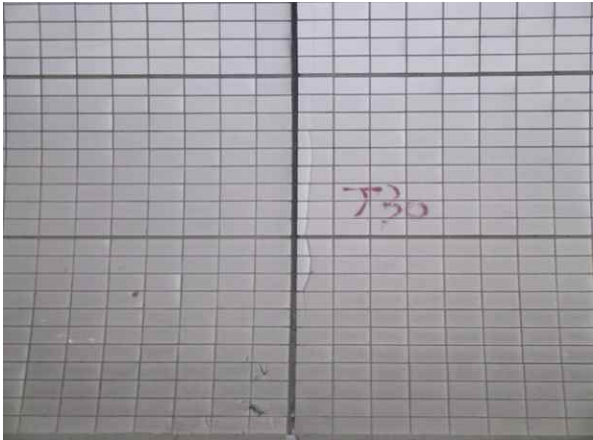
- 측벽부에 대한 현장조사 결과, 타일 균열, 타일 파손, 타일 탈락, 파손, 몰탈박락 등이 조사되었다.

【표 3.3.4】측벽부 손상현황

구분	타일 균열 (개소/개소)		타일 파손 (개소/개소)		타일 탈락 (개소/개소)		파손 (㎡/개소)		몰탈박락 (㎡/개소)	
Sh1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh2	4.00	4	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh3	3.00	3	2.00	2	—	—	0.35	1	0.02	1
Sh4	31.00	31	—	—	17.00	17	—	—	0.06	1
Sh5	36.00	36	2.00	2	—	—	—	—	—	—
Sh6	37.00	37	15.00	15	2.00	2	—	—	0.04	1
Sh7	10.00	10	24.00	24	—	—	—	—	0.23	1
Sh8	7.00	7	15.00	15	—	—	—	—	—	—
Sh9	15.00	15	2.00	2	—	—	—	—	—	—
Sh10	—	—	2.00	2	1.00	1	—	—	0.08	2
Sh11	20.00	20	—	—	—	—	—	—	0.07	3
Sh12	8.00	8	8.00	8	—	—	—	—	0.04	1
Sh13	5.00	5	1.00	1	—	—	—	—	—	—
Sh14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh15	3.00	3	—	—	—	—	—	—	0.01	1
Sh16	5.00	5	6.00	6	—	—	—	—	—	—
Sh17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh18	6.00	6	—	—	13.00	13	—	—	—	—
Sh19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
합계	190.00	190	77.00	77	33.00	33	0.35	1	0.55	11

			
현 황	■ S06 측벽부 파손	현 황	■ S07 측벽부 타일 파손
원 인	■ 외부충격 등	원 인	■ 라이닝 반사균열 등
대 책	■ 주의관찰 후 일괄보수	대 책	■ 주의관찰 후 재설치
			
현 황	■ S08 측벽부 타일 탈락, 균열	현 황	■ S15 측벽부 타일 균열
원 인	■ 라이닝 반사균열, 경년열화	원 인	■ 라이닝 반사균열 등
대 책	■ 주의관찰	대 책	■ 주의관찰 후 재설치
			
현 황	■ S18 측벽부 타일 파손	현 황	■ S19 측벽부 타일 파손
원 인	■ 외부충격 등	원 인	■ 라이닝 반사균열, 외부충격 등
대 책	■ 주의관찰	대 책	■ 주의관찰

【사진 3.3.4】 측벽부 손상현황

			
현 황	■ S27 측벽부 몰탈바라	현 황	■ S29 측벽부 몰탈바라
원 인	■ 장기공용 등	원 인	■ 장기공용 등
대 책	■ 주의관찰 후 일괄보수	대 책	■ 주의관찰 후 일괄보수
			
현 황	■ S30 측벽부 타일 균열	현 황	■ S31 측벽부 몰탈바라
원 인	■ 라이닝 반사균열 등	원 인	■ 장기공용 등
대 책	■ 주의관찰 후 재설치	대 책	■ 주의관찰 후 일괄보수
			
현 황	■ S45 측벽부 타일 파손	현 황	■ S50 측벽부 타일 탈락
원 인	■ 라이닝 반사균열, 외부충격 등	원 인	■ 장기공용, 부작강도 저하
대 책	■ 주의관찰	대 책	■ 주의관찰

【사진 3.3.4】 측벽부 손상현황(계속)

(2) 기 점검 결과 비교

- 24년 정밀안전점검과 비교한 결과, 기존손상인 타일 균열/파손/탈락, 파손, 몰탈박락 등이 확인되었으며, 금회 점검에서 타일 파손이 신규로 추가 조사되었다.

【표 3.3.5】측벽부 기 점검 결과 비교

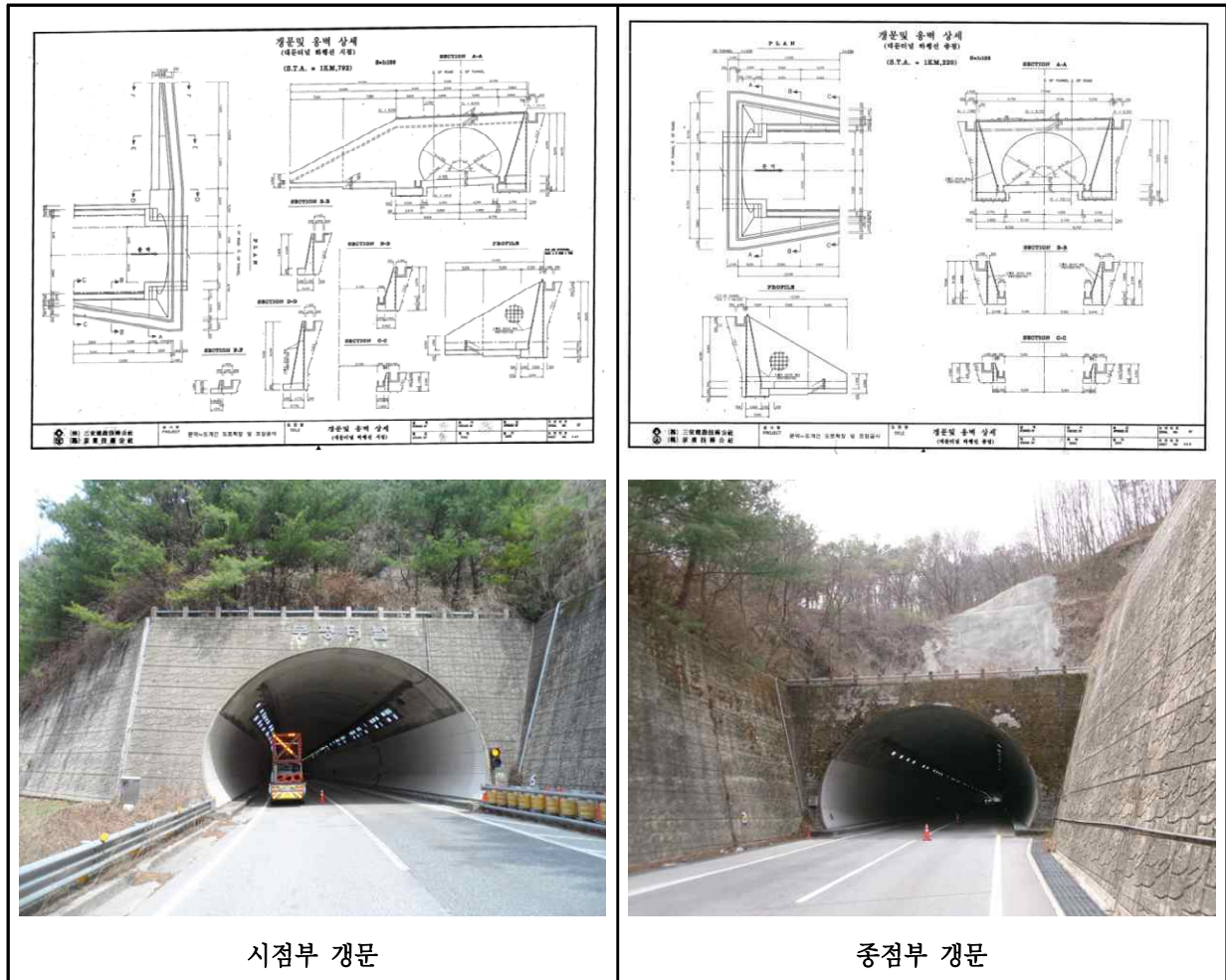
구분	손상 내용	단위	2024년 정밀안전점검		2025년 2종성능평가		증·감	비고
			물량	개소	물량	개소		
측벽부	타일 균열	EA	190.00	190	190.00	190	— —	변동없음
	타일 파손	EA	75.00	75	77.00	77	▲ 2.00	신규손상
	타일 탈락	EA	33.00	33	33.00	33	— —	변동없음
	파손	m ²	0.35	1	0.35	1	— —	변동없음
	몰탈박락	m ²	0.55	11	0.55	11	— —	변동없음

(3) 검토의견

- 측벽부에서 조사된 타일 균열/파손/탈락, 몰탈박락의 경우 라이닝 콘크리트 내부 균열에 의한 반사균열 및 장기공용에 따른 타일 몰탈 부착력 저하, 차량의 외부충격 등의 원인으로 발생한 손상으로 즉각적인 보수보다는 주의관찰을 실시하고, 추후 손상증가시 일괄적으로 보수 및 재시공을 하는 것이 유지관리에 유리할 것으로 판단된다.
- 파손의 경우 외부충격에 의한 손상으로 판단되며, 내구성 확보 차원에서 단면보수 등의 조치가 필요하다.

3) 갯문

본 터널의 시·종점부에 설치된 갯문은 지형, 지반, 주변환경, 차량의 주행성 등이 고려되며, 시·종점부 갯문 형식은 면벽식으로 시공되어 있다.



【사진 3.3.5】 갯문 전경

(1) 조사결과

- 갯문에 대한 현장조사 결과, 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

【표 3.3.6】 갯문 손상현황

구분	상태양호	
시점부	—	—
종점부	—	—
합계	—	—

			
현 황	■ 시점부 갯문 전경	현 황	■ 종점부 갯문 전경
원 인	■ -	원 인	■ -
대 책	■ -	대 책	■ -

【사진 3.3.6】 갯문 손상현황

(2) 기 점검 결과 비교

- 24년 정밀안전점검과 비교한 결과, 갯문은 전반적으로 양호한 상태로 확인되었다.

【표 3.3.7】 갯문 기 점검 결과 비교

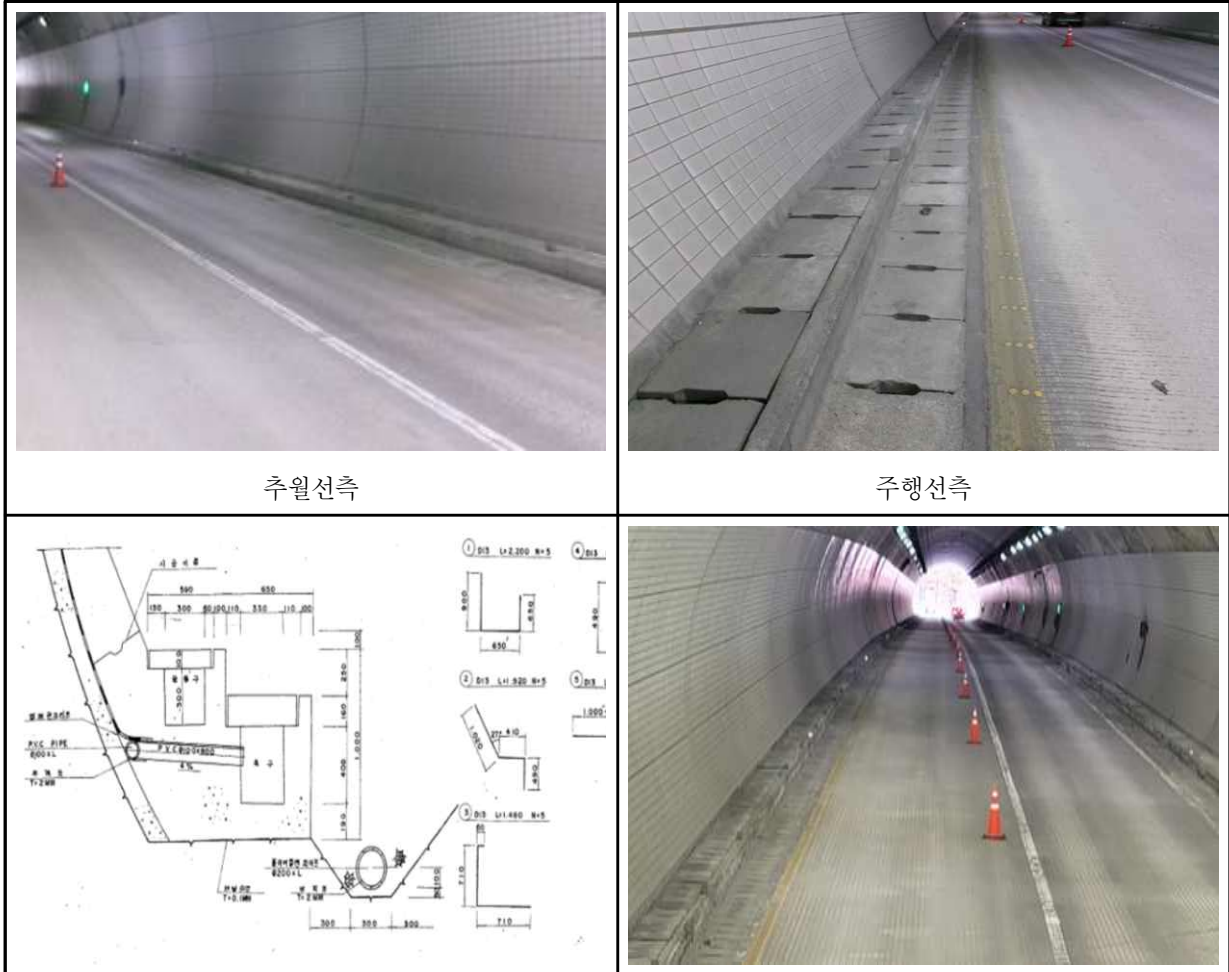
구분	손상 내용	단위	2024년 정밀안전점검		2025년 2중성능평가		증·감	비고
			물량	개소	물량	개소		
갯문	상태양호	-	-	-	-	-	- -	

(3) 검토의견

- 갯문은 구조물의 안전을 저해할 만한 손상이 발생하지 않은 양호한 상태로 확인되었다.

4) 공동구

본 터널의 좌·우벽체 하단부에 위치한 공동구는 300mm × 300mm 크기로 시공되어 있다. 또한 유지관리를 위해 상부는 콘크리트 덮개가 설치되어 있다. 외관조사시, 공동구 덮개파손, 본체 콘크리트 파손 등에 주안점을 두고 외관조사를 실시하였다.



【사진 3.3.7】 공동구 전경

(1) 조사결과

- 공동구에 대한 현장조사 결과, 뚫뜸, 박락 및 철근노출, 덮개 파손 등이 조사되었다.

【표 3.3.8】 공동구 손상현황

구분	들뜸 (㎡/개소)		박락 및 철근노출 (㎡/개소)		덮개 파손 (개소/개소)	
Sh1	—	—	—	—	1.00	1
Sh2	5.60	3	—	—	4.00	4
Sh3	7.15	3	0.30	1	—	—
Sh4	7.20	2	—	—	—	—
Sh5	11.20	2	0.24	1	—	—
Sh6	5.40	2	—	—	1.00	1
Sh7	3.80	2	0.10	1	1.00	1
Sh8	2.60	1	—	—	1.00	1
Sh9	—	—	—	—	—	—
Sh10	1.80	1	—	—	—	—
Sh11	—	—	—	—	1.00	1
Sh12	—	—	—	—	—	—
Sh13	—	—	—	—	—	—
Sh14	—	—	—	—	—	—
Sh15	—	—	—	—	—	—
Sh16	2.10	2	—	—	—	—
Sh17	3.60	1	—	—	—	—
Sh18	—	—	—	—	—	—
Sh19	—	—	—	—	2.00	2
합계	50.45	19	0.64	3	11.00	11

			
현 황	■ S3~5 공동구 들뜸	현 황	■ S6~8 공동구 들뜸
원 인	■ 외부충격, 동절기 제설제 등	원 인	■ 외부충격, 동절기 제설제 등
대 책	■ 단면보수	대 책	■ 단면보수
			
현 황	■ S11~14 공동구 들뜸	현 황	■ S1~15 공동구 들뜸
원 인	■ 외부충격, 동절기 제설제 등	원 인	■ 외부충격, 동절기 제설제 등
대 책	■ 단면보수	대 책	■ 단면보수
			
현 황	■ S31 공동구 덮개 파손	현 황	■ S44 공동구 들뜸
원 인	■ 외부충격, 동절기 제설제 등	원 인	■ 외부충격, 동절기 제설제 등
대 책	■ 정비	대 책	■ 단면보수

【사진 3.3.8】 공동구 손상현황

(2) 기 점검 결과 비교

- 24년 정밀안전점검과 비교한 결과, 기존손상인 공동구 들뜸, 박락 및 철근노출, 덮개 파손 등의 손상이 확인되었고, 금회 점검에서 손상의 진전은 없는 것으로 조사되었다.

【표 3.3.9】 공동구 기 점검 결과 비교

구분	손상 내용	단 위	2024년 정밀안전점검		2025년 2중성능평가		증·감	비고
			물량	개소	물량	개소		
공동구	들뜸	m ²	50.45	19	50.45	19	— —	변동없음
	박락 및 철근노출	m ²	0.64	3	0.64	3	— —	변동없음
	덮개 파손	EA	11.00	11	11.00	11	— —	변동없음

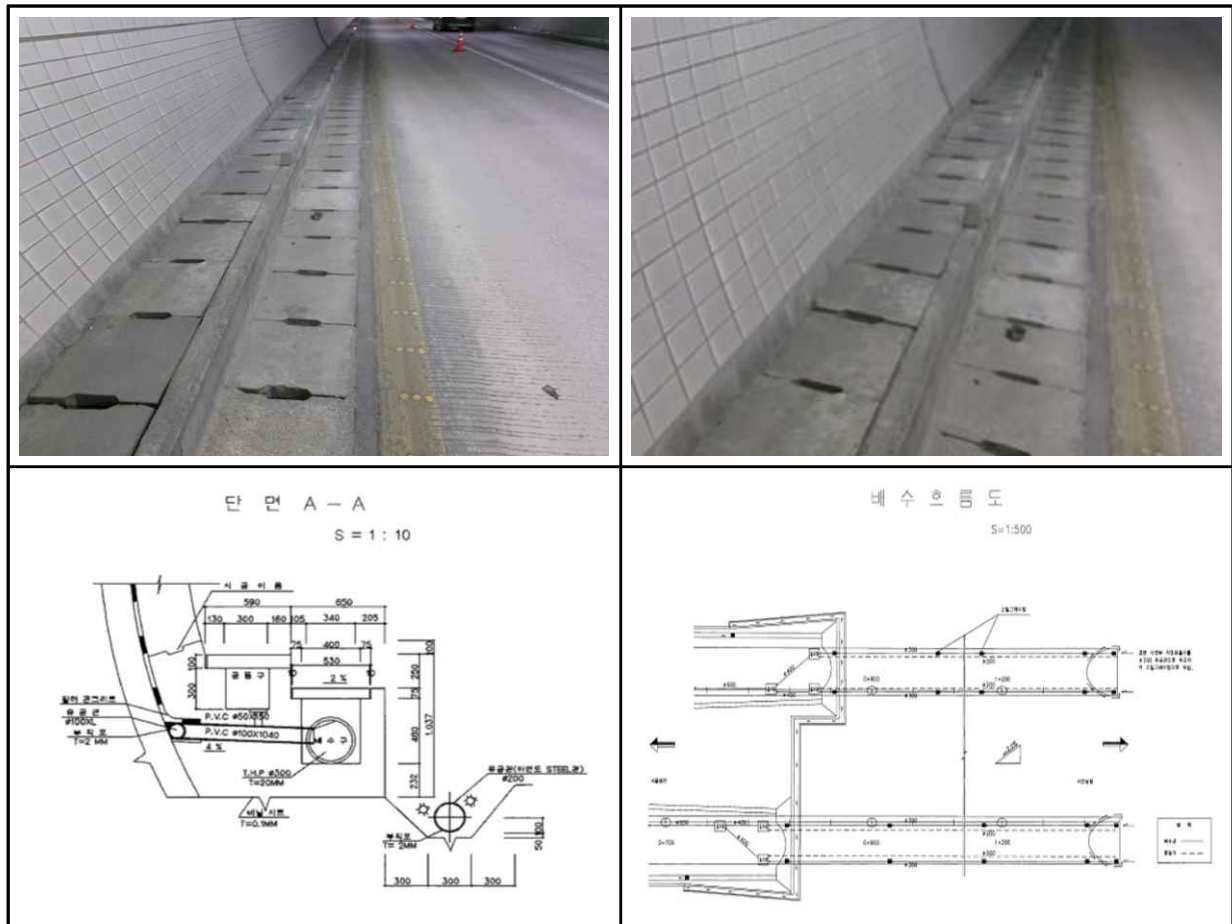
(3) 검토의견

- 들뜸, 박락 및 철근노출, 덮개 파손의 경우, 거푸집 조기탈거 및 이동시 충격, 외부충격(차량), 동절기 제설제 등의 원인에 의한 손상으로 판단되며, 상기 손상부는 구조적인 영향을 미치는 손상은 아니나 진전 방지 및 구조물의 내구성 증진, 유지관리상 안전을 위한 단면보수 및 방청, 정비를 실시하는 유지관리가 필요하다.

5) 배수시설

터널의 배수방식은 부분 배수형식으로 THP유공관(Ø300)을 종방향으로 양측에 설치하여 침수하는 형식이며, 하부에 생기는 침수는 좌우 양측에 설치된 아연도유공관(Ø200)을 통해 배수되는 저면배수 방식이다. 배수구에는 크기 0.53m×0.48m×2EA의 스틸그레이팅이 설치되어 있다.

외관조사시 배수구 막힘, 그레이팅 파손 및 변형, 중배수로 상부 콘크리트 파손 등에 주안점을 두고 외관조사를 실시하였다.



【사진 3.3.9】 배수시설 전경

(1) 조사결과

- 배수시설에 대한 현장조사 결과, 배수구 토사퇴적, 배수로 덮개 파손 등이 조사되었다.

【표 3.3.10】 배수시설 손상현황

구분	배수구 토사퇴적 (m/개소)		배수로 덮개 파손 (개소/개소)	
Sh1	9.00	1	1.00	1
Sh2	27.00	3	—	—
Sh3	27.00	3	—	—
Sh4	27.00	3	—	—
Sh5	27.00	3	—	—
Sh6	27.00	3	—	—
Sh7	27.00	3	—	—
Sh8	27.00	3	2.00	2
Sh9	27.00	3	1.00	1
Sh10	27.00	3	—	—
Sh11	27.00	3	—	—
Sh12	27.00	3	2.00	2
Sh13	27.00	3	—	—
Sh14	27.00	3	—	—
Sh15	27.00	3	—	—
Sh16	27.00	3	—	—
Sh17	18.00	2	—	—
Sh18	18.00	2	—	—
Sh19	9.00	1	—	—
합계	459.00	51	6.00	6

			
현 황	■ S1 배수로 덮개 파손	현 황	■ S33 배수로 덮개 파손
원 인	■ 외부충격 등	원 인	■ 외부충격 등
대 책	■ 정비	대 책	■ 정비

【사진 3.3.10】 배수시설 손상현황

(2) 기 점검 결과 비교

- 24년 정밀안전점검과 비교한 결과, 기존손상인 배수구 토사퇴적, 배수로 덮개파손이 확인되었다.

【표 3.3.11】 배수시설 기 점검 결과 비교

구분	손상 내용	단 위	2024년 정밀안전점검		2025년 2중성능평가		증 · 감	비고
			물량	개소	물량	개소		
배수 시설	배수구 토사퇴적	m	459.00	11	459.00	51	— —	변동없음
	배수로 덮개 파손	EA	6.00	6	6.00	6	— —	변동없음

(3) 검토의견

- 배수시설에서 조사된 배수구 토사퇴적의 경우, 주행차량 통행에 의한 이물질퇴적, 비산먼지, 동절기 제설제 등에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 터널내 원활한 배수를 위해 정비, 청소를 실시하는 것이 요구된다.
- 배수로 덮개 파손은 주행차량의 윤하중, 외부충격, 동절기 제설제에 의한 열화 등에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 정비를 통한 유지관리가 요구된다.

6) 포장부

본 터널의 포장부는 인버트 콘크리트 65cm 포설하여 포장층을 구성하고 있으며, 2022년도에 포장에 대한 보수를 실시한 것으로 이전 보고서를 통해 확인하였다.

포장부 외관조사 시, 균열 및 파손, 토사퇴적 등에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.



【사진 3.3.11】포장부 전경

(1) 조사결과

- 포장부에 대한 현장조사 결과, 포장 망상균열, 접속부 망상균열, 파손, 앵커 돌출 등이 조사되었다.

【표 3.3.12】포장부 손상현황

구분	포장 망상균열 (m²/개소)		포장 접속부 망상균열 (m²/개소)		포장 파손 (m²/개소)		포장 앵커 돌출 (개소/개소)	
Sh1	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh2	—	—	—	—	0.47	5	3.00	3
Sh3	—	—	—	—	0.14	3	1.00	1
Sh4	—	—	—	—	4.86	7	1.00	1
Sh5	3.00	1	—	—	0.90	1	—	—
Sh6	—	—	—	—	0.05	2	5.00	5
Sh7	—	—	—	—	0.04	1	3.00	3
Sh8	—	—	—	—	0.22	3	5.00	5
Sh9	—	—	—	—	0.18	4	2.00	2
Sh10	—	—	—	—	0.16	3	3.00	3
Sh11	—	—	—	—	0.01	1	3.00	3
Sh12	—	—	—	—	0.10	2	3.00	3
Sh13	—	—	—	—	0.29	5	5.00	5
Sh14	—	—	—	—	0.17	3	4.00	4
Sh15	—	—	—	—	0.04	1	2.00	2
Sh16	—	—	—	—	0.14	5	2.00	2
Sh17	—	—	—	—	0.16	4	1.00	1
Sh18	—	—	—	—	0.17	3	—	—
Sh19	—	—	2.70	1	—	—	—	—
합계	3.00	1	2.70	1	8.10	53	43.00	43

			
현 황	■ S02 포장 파손	현 황	■ S04 포장 앵커 돌출
원 인	■ 차량의 윤하중, 장기공용 등	원 인	■ 시공미흡 등
대 책	■ 소파보수	대 책	■ 앵커 제거
			
현 황	■ S06 포장 파손	현 황	■ S13 포장 망상균열
원 인	■ 차량의 윤하중, 장기공용 등	원 인	■ 차량의 윤하중, 장기공용 등
대 책	■ 소파보수	대 책	■ 주의관찰
			
현 황	■ S41 포장 파손	현 황	■ S51 포장 접속부 망상균열
원 인	■ 차량의 윤하중, 장기공용 등	원 인	■ 차량의 윤하중 등
대 책	■ 소파보수	대 책	■ 주의관찰

【사진 3.3.12】 포장부 손상현황

(2) 기 점검 결과 비교

- 24년 정밀안전점검과 비교한 결과, 기존손상인 포장 망상균열, 접속부 망상균열, 파손, 앵커 돌출이 확인되었으며, 금회 점검시 손상의 진전은 없는 것으로 조사되었다.

【표 3.3.13】 포장부 기 점검 결과 비교

구분	손상 내용	단 위	2024년 정밀안전점검		2025년 2중성능평가		증·감	비고
			물량	개소	물량	개소		
포장부	포장 망상균열	m ²	3.00	1	3.00	1	- -	변동없음
	포장 접속부 망상균열	m ²	2.70	1	2.70	1	- -	변동없음
	포장 파손	m ²	8.10	53	8.10	53	- -	변동없음
	포장 앵커 돌출	EA	43.00	43	43.00	43	- -	변동없음

(3) 검토의견

- 포장부에서 조사된 포장 망상균열, 접속부 망상균열, 파손의 경우 건조수축 및 중차량의 반복통행에 의한 진동 및 충격, 공용기간 증가, 제설제의 유입 등 복합적인 요인에 의한 것으로 판단되며, 균열은 경미한 편으로 주의관찰을 실시하고, 파손은 통행차량의 주행안전성, 포장의 내구성확보 차원에서 단면보수, 소파보수를 실시하는 유지관리가 요망된다.
- 포장 앵커 돌출의 경우 시공미흡 등에 의해 발생한 것으로 주행차량의 안전성 확보를 위해 앵커 제거를 통한 유지관리가 요구된다.

다. 부대시설물(사면, 옹벽, 기타부속시설)

1) 사면

본 터널 시·종점부에 있는 사면은 사면보호공으로 녹생토, 배수시설은 측구 배수로가 시공되어 있다.

터널부 사면의 외관조사시 강우나 폭설 등에 의한 토사층의 침식, 암반면의 탈락 등 절토사면의 파괴징후 및 손상 발생여부에 대해 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.



【사진 3.3.13】 사면 전경

(1) 조사결과

- 사면에 대한 현장조사 결과, 배수로 균열, 파손, 철근노출, 이물질퇴적, 낙석 위험, 낙석방지망 파손 등이 조사되었다.

【표 3.3.14】 사면 손상현황

구분	배수로 균열 (m/개소)		배수로 파손 (㎡/개소)		배수로 철근노출 (㎡/개소)		배수로 이물질퇴적 (m/개소)		낙석 위험 (개소/개소)		낙석방지망 파손 (㎡/개소)	
시점부	2.00	2	2.40	3	—	—	60.00	1	1.00	1	8.00	1
종점부	2.00	2	1.00	1	0.05	1	—	—	—	—	—	—
합계	4.00	4	3.40	4	0.05	1	60.00	1	1.00	1	8.00	1

			
현 황	■ 시점부 배수로 파손	현 황	■ 시점부 배수로 균열
원 인	■ 시공미흡, 외기노출	원 인	■ 건조수축, 온도변화 등
대 책	■ 단면보수	대 책	■ 주입보수
			
현 황	■ 시점부 낙석방지망 파손, 낙석 위험	현 황	■ 시점부 낙석방지망 파손, 낙석 위험
원 인	■ 강우, 풍화 등	원 인	■ 강우, 풍화 등
대 책	■ 낙석방지망 시공	대 책	■ 낙석방지망 시공
			
현 황	■ 시점부 배수로 이물질퇴적	현 황	■ 종점부 배수로 파손
원 인	■ 공용기간 증가, 강우 등	원 인	■ 시공미흡, 외기노출
대 책	■ 주의관찰	대 책	■ 단면보수

【사진 3.3.14】 사면 손상현황

(2) 기 점검 결과 비교

- 24년 정밀안전점검과 비교한 결과, 기존손상인 배수로 균열, 파손, 철근노출, 이물질퇴적이 확인되었으며, 금회 점검시 배수로 파손, 낙석 위험, 낙석방지망 파손이 신규로 추가 조사되었다.

【표 3.3.15】사면 기 점검 결과 비교

구분	손상 내용	단위	2024년 정밀안전점검		2025년 2종성능평가		증·감	비고
			물량	개소	물량	개소		
사면	배수로 균열	m	4.00	4	4.00	4	— —	변동없음
	배수로 파손	m ³	3.25	3	3.40	4	▲ 0.15	신규손상
	배수로 철근노출	m ²	0.05	1	0.05	1	— —	변동없음
	배수로 이물질퇴적	m	60.00	1	60.00	1	— —	변동없음
	낙석 위험	EA	—	—	1.00	1	▲ 0.15	신규손상
	낙석방지망 파손	m ²	—	—	8.00	1	▲ 0.15	신규손상

(3) 검토의견

- 사면에서 조사된 배수로 균열, 파손, 철근노출은 건조수축, 온도변화, 시공미흡, 품질관리 미흡, 공용기간 증가 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 내구성 확보 차원에서 주입보수, 단면 보수 및 방청을 통한 유지관리가 요구된다.
- 배수로 이물질퇴적은 공용기간 증가, 강우시 낙엽 등의 퇴적에 의해 발생한 것으로 판단되며, 원활한 배수기능 확보를 위해 정비, 청소를 통한 유지관리가 요구된다.
- 낙석방지망 파손 및 낙석위험부는 집중 강우, 풍화 등에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 우기시 집중강우 등에 의해 손상이 진전될 우려가 있으므로 주행차량의 안전사고 방지를 위해 낙석방지망 설치를 통한 유지관리가 요구된다.

2) 옹벽

본 터널의 시·종점부에 설치된 옹벽은 반중력식 옹벽으로 시공되어있는 상태이다.



【사진 3.3.15】 옹벽 전경

(1) 조사결과

- 옹벽에 대한 현장조사 결과, 실란트 탈락 및 이격, 조인트 식생 등이 조사되었다.

【표 3.3.16】 옹벽 손상현황

구분	실란트 탈락 및 이격 (m/개소)		조인트 식생 (개소/개소)	
시점부	7.00	1	—	—
종점부	—	—	1.00	1
합계	7.00	1	1.00	1

			
현 황	■ 시점부 옹벽 실란트 탈락 및 이격	현 황	■ 종점부 옹벽 식생
원 인	■ 공용기간 증가, 온도변화 등	원 인	■ 공용기간 증가
대 책	■ 주의관찰	대 책	■ 주의관찰

【사진 3.3.16】 옹벽 손상현황

(2) 기 점검 결과 비교

- 24년 정밀안전점검과 비교한 결과, 실란트 탈락 및 이격, 조인트 식생이 확인되었으며, 손상의 진전은 없는 것으로 조사되었다.

【표 3.3.17】 옹벽 기 점검 결과 비교

구분	손상 내용	단위	2024년 정밀안전점검		2025년 2중성능평가		증·감	비고
			물량	개소	물량	개소		
옹벽	실란트 탈락 및 이격	m	7.00	1	7.00	1	- -	변동없음
	조인트 식생	EA	1.00	1	1.00	1	- -	변동없음

(3) 검토의견

- 옹벽에 조사된 실란트 탈락 및 이격, 조인트 식생은 공용기간 증가, 온도변화, 외기노출 등에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 요구된다.

3) 부속시설

본 터널의 부속시설은 조명시설, 소화시설, 비상전화, CCTV 등이 설치되어 있다.

외관조사시, 부속시설의 파손, 외관상태 등에 대해 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.



【사진 3.3.17】 부속시설 전경

(1) 조사결과

- 본 터널에 설치된 부속시설에 대한 외관조사 결과, 손상이 없는 양호한 상태로 확인되었다.

【표 3.3.18】 부속시설 손상현황

구분	상태양호
부속시설	—
합계	—

			
현 황	■ 조명시설 상태양호	현 황	■ 소화시설 상태양호
원 인	■ -	원 인	■ -
대 책	■ -	대 책	■ -

【사진 3.3.18】 부속시설 손상현황

(2) 기 점검 결과 비교

- 24년 정밀안전점검과 비교한 결과, 손상이 없는 양호한 상태로 확인되었다.

【표 3.3.19】 부속시설 기 점검 결과 비교

구분	손상 내용	단 위	2024년 정밀안전점검		2025년 2중성능평가		증·감	비고
			물량	개소	물량	개소		
부속시설	상태양호	-	-	-	-	-	- -	

(3) 검토의견

- 부속시설은 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으며, 공용기간 경과시 손상의 추가 발생여부에 대한 유지관리가 요구된다.

라. 공중이 이용하는 부위

공중이 이용하는 부위는 추락방지시설, 도로부 포장 및 신축이음부, 환기구 등의 덮개가 있다.

1) 추락방지시설

- 공중이 이용하는 부위 중 추락방지시설은 미설치된 상태이다.

2) 도로포장

- 공중이 이용하는 부위 중 도로포장은 “현장조사 결과 - 포장부”에 기입된 사항으로 대체하였다.

3) 도로부 신축이음부

- 공중이 이용하는 부위 중 도로부 신축이음부는 미설치된 상태이다.

4) 환기구 등의 덮개

- 공중이 이용하는 부위 중 환기구 등의 덮개는 “현장조사 결과 - 공동구”에 기입된 사항으로 대체하였다.

3.3.3 현장조사 결과요약

가. 외관조사 총괄표

【표 3.3.20】 손상내용 총괄표

구분	손상 내용	단위	물량	개소	비고
천장부	균열(0.3mm미만)	m	23.40	13	
	균열(0.3mm이상)	m	12.00	2	
	보수부 재균열(0.3mm미만)	m ²	34.50	7	
	보수부 재균열(0.3mm이상)	m ²	81.50	10	
	들뜸	m ²	0.08	5	
	박락	m ²	0.07	3	
측벽부	타일 균열	EA	190.00	190	
	타일 파손	EA	77.00	77	
	타일 탈락	EA	33.00	33	
	파손	m ²	0.35	1	
	몰탈박락	m ²	0.55	11	
갹문	상태양호	—	—	—	
공동구	들뜸	m ²	50.45	19	
	박락 및 철근노출	m ²	0.64	3	
	덮개 파손	EA	11.00	11	
배수시설	배수구 토사퇴적	m	459.00	51	
	배수로 덮개 파손	EA	6.00	6	
포장부	포장 망상균열	m ²	3.00	1	
	포장 접속부 망상균열	m ²	2.70	1	
	포장 파손	m ²	8.10	53	
	포장 앵커 돌출	EA	43.00	43	
사면	배수로 균열	m	4.00	4	
	배수로 파손	m ³	3.40	4	
	배수로 철근노출	m ²	0.05	1	
	배수로 이물질퇴적	m	60.00	1	
	낙석 위험	EA	1.00	1	
	낙석방지망 파손	m ²	8.00	1	
옹벽	실란트 탈락 및 이격	m	7.00	1	
	조인트 식생	EA	1.00	1	
부속시설	상태양호	—	—	—	

3.3.4 전회차 손상물량 비교

【표 3.3.21】 손상물량 비교표

구분	손상 내용	단위	2024년 정밀안전점검		2025년 2중성능평가		증 · 감	비고
			물량	개소	물량	개소		
천장부	균열(0.3mm미만)	m	23.40	13	23.40	13	— —	변동없음
	균열(0.3mm이상)	m	12.00	2	12.00	2	— —	변동없음
	보수부 재균열(0.3mm미만)	m ²	34.50	7	34.50	7	— —	변동없음
	보수부 재균열(0.3mm이상)	m ²	81.50	10	81.50	10	— —	변동없음
	들뜸	m ²	0.08	5	0.08	5	— —	변동없음
	박락	m ²	0.07	3	0.07	3	— —	변동없음
측벽부	타일 균열	EA	190.00	190	190.00	190	— —	변동없음
	타일 파손	EA	75.00	75	77.00	77	▲ 2.00	신규손상
	타일 탈락	EA	33.00	33	33.00	33	— —	변동없음
	파손	m ²	0.35	1	0.35	1	— —	변동없음
	물탈박락	m ²	0.55	11	0.55	11	— —	변동없음
갯문	상태양호	—	—	—	—	—	— —	
공동구	들뜸	m ²	50.45	19	50.45	19	— —	변동없음
	박락 및 철근노출	m ²	0.64	3	0.64	3	— —	변동없음
	덮개 파손	EA	11.00	11	11.00	11	— —	변동없음
배수 시설	배수구 토사퇴적	m	459.00	11	459.00	51	— —	변동없음
	배수로 덮개 파손	EA	6.00	6	6.00	6	— —	변동없음
포장부	포장 망상균열	m ²	3.00	1	3.00	1	— —	변동없음
	포장 접속부 망상균열	m ²	2.70	1	2.70	1	— —	변동없음
	포장 파손	m ²	8.10	53	8.10	53	— —	변동없음
	포장 앵커 돌출	EA	43.00	43	43.00	43	— —	변동없음
사면	배수로 균열	m	4.00	4	4.00	4	— —	변동없음
	배수로 파손	m ³	3.25	3	3.40	4	▲ 0.15	신규손상
	배수로 철근노출	m ²	0.05	1	0.05	1	— —	변동없음
	배수로 이물질퇴적	m	60.00	1	60.00	1	— —	변동없음
	낙석 위험	EA	—	—	1.00	1	▲ 0.15	신규손상
	낙석방지망 파손	m ²	—	—	8.00	1	▲ 0.15	신규손상
옹벽	실란트 탈락 및 이격	m	7.00	1	7.00	1	— —	변동없음
	조인트 식생	EA	1.00	1	1.00	1	— —	변동없음
부속시설	상태양호	—	—	—	—	—		

3.4 콘크리트 내구성 조사

콘크리트 내구성조사는 구조물에 열화손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부를 판정하며, 아직 열화손상이 없거나 경미한 구조물은 내구성조사에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

본 과업의 내구성조사는 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2024. 12, 국토교통부/국토안전관리원)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였다.

3.4.1 조사 현황 및 위치

가. 조사 현황

본 과업에서 콘크리트 내구성조사를 위해 콘크리트 강도시험(반발경도시험), 철근탐사시험, 탄산화깊이 측정, 염화물침투량 시험 등을 실시하였으며, 각 부재별 콘크리트 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

【표 3.4.1】 콘크리트 비파괴시험 현황

구분	기준수량	실행수량	비고
측점분할	5~50m 간격		
반발경도 시험	총수량 = 총연장 ÷ 300m 개소	2개소	3개소
탄산화깊이 측정	총연장 1,000m 미만 = 2개소 총연장 1,000m 이상 = 최초 2개소 + 1000m당 1개소 추가	2개소	2개소
염화물	총연장 1,000m 미만 = 2개소(갱문 1개소 포함) 총연장 1,000m 이상 =최소2개소(갱문포함) + 1,000m 당 1개소 추가	2개소	2개소
철근탐사시험	과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정	—	2개소
회도	총 10개소	10개소	

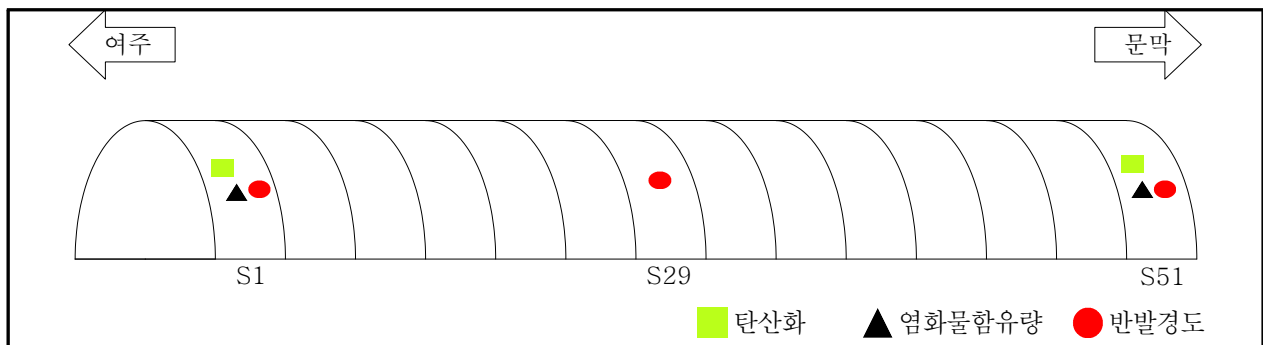
※ 철근탐사시험 자료는 부록에 수록함

※ 회도는 ‘사용성능 평가’ 항목에 수록함

나. 콘크리트 내구성시험 위치 선정사유

콘크리트 강도 등 시공정밀도 검증이 필요한 재료시험은 내구성 시험의 정확한 값을 얻기 위하여 접근성이 용이하고 콘크리트의 요철 및 곰보자국 등을 피하여 외관상 양호한 곳을 선정하여 건전부 및 비건전부에 내구성 시험을 실시하였다. 따라서 본 터널의 내구성 시험은 고소작업차를 이용하여 라이닝 등의 주요부재를 중심으로 우선적으로 선정하여 시험위치를 정하였다.

다. 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 3.4.1】 콘크리트 내구성조사 위치도

3.4.2 시험결과 및 분석

가. 콘크리트 강도시험

콘크리트 비파괴강도시험은 콘크리트 표면이 양호한 부위를 선정하고, 표면 요철, 부착물, 이물질 등을 제거하고, 슈미트 해머를 사용하여 반발경도를 측정하였다. 측정결과는 타격방향, 재령 등에 의한 보정을 한 후 비파괴강도 추정에 이용하였으며, 두 가지의 추정식 중 표준편차와 변동계수가 적은 식을 이용하여 콘크리트 비파괴강도를 추정하였다.



【사진 3.4.1】 강도시험 현장사진

1) 반발경도 시험

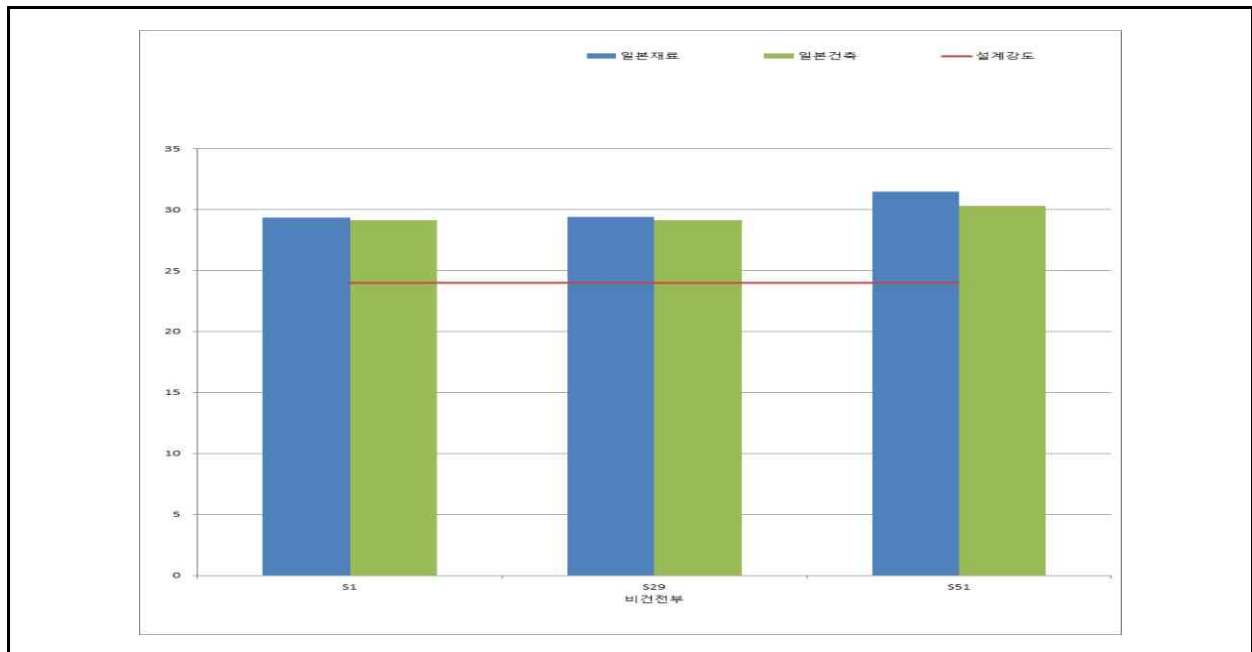
(1) 반발경도 시험결과

【표 3.4.2】 콘크리트 라이닝 반발경도 시험결과

시험위치			반발경도법 (MPa)			재령계수	설계기준 강도 (MPa)	비고
			반발경도 (R_o)	일본재료 학회	일본건축 학회			
라 이 닝	S1	라이닝	50.8	29.3	29.1	0.63	24.0	건전부
	S29	라이닝	50.9	29.4	29.1			비건전부
	S51	라이닝	53.5	31.5	30.3			건전부
평균			—	30.1	29.5	—	—	
표준편차			—	1.24	0.69	—	—	
변동계수			—	0.041	0.023	—	—	
최대값			—	31.5	30.3	—	—	
최소값			—	29.3	29.1	—	—	

【표 3.4.3】 콘크리트 라이닝 반발경도 추정강도

시험위치	압축강도(MPa) 추정		설계기준강도 (MPa)	평균 추정강도 (MPa)	강도비교 (%)	비고
	일본건축학회					
라이닝	29.1	~ 30.3	24.0	29.5	122.9	



【그림 3.4.2】 반발경도 시험결과 그래프

- 반발경도법에 의한 압축강도 측정결과 29.1~30.3MPa로 측정 되었으며, 금회 실시한 비파괴 강도는 모두 설계기준 압축강도(24.0MPa)를 상회하는 것으로 강도 저하가 없는 것으로 판단된다. 따라서, 금회 시험을 실시한 라이닝 콘크리트 강도는 공용년수 경과에 따른 강도 저하가 발생되지 않은 것으로 판단된다.

(2) 기 점검결과와의 비교

【표 3.4.4】 기 점검결과와의 비교

구 분	2020년 성능평가	2025년 성능평가	설계기준강도(MPa)
반발경도법	22.7 ~ 26.9	29.1 ~ 30.3	24.0
검토의견	■ 기존 및 금회 측정값 비교 분석 결과 측정부위에 따라 다소 차이는 있지만, 설계강도를 100%이상 상회하고 있는 것으로 조사되어 콘크리트의 강도상태는 전반적으로 양호한 것으로 판단된다.		

(3) 반발경도 시험 보고서

【표 3.4.5】 반발경도 시험 보고서

반발경도 시험 보고서	
1. 시험조건	
구 분	내 용
시험 일자 및 시간	일자 : 2025. 04. 09. 시간 : 09:00 ~ 17:00
시험 위치	시험 성과표의 위치명 및 재료시험 위치도 참조
시험 대상 구조물	부평터널(하) 라이닝
시험 대상 표본 선정	재료시험 수량에 따라 표본 선정
콘크리트 설계 조건 (강도, MPa)	라이닝 : 24MPa
시험 위치의 표면 상태	균열, 박리 등이 없는 양호한 부위 대상 표면정리(요철제거)
시험시의 온도 및 콘크리트의 재령	5.4 ~ 11.6℃, 3000일 이상
콘크리트 내부의 함수 상태	기건 상태
2. 시험기기	
구 분	내 용
측정기의 종류	슈미트 해머 NR형
제품번호	28191
시험기기의 교정	한국산업기술시험원 교정(엔빌테스트 : 80±2)
3. 시험 방법	
구 분	내 용
반발경도 타격점 간격 및 수량	4 × 5, 20회 타격(30mm 간격)
반발경도 측정기의 타격방향	시험 성과표 참조
반발경도 유효값 기준	측정 평균치의 ±20% 범위 내
시험 부위별 반발경도의 평균값	시험 성과표 참조
버린 반발경도의 값 및 위치	시험 성과표 참조
4. 시험결과	
시험 성과표 참조	

나. 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 드릴링을 통한 국부적으로 파손시킨 면에 지시약을 사용하여 적색으로 변색되는 시점을 탄산화깊이로 정하였으며, 버니어캘리퍼스를 이용하여 깊이를 측정하였다. 피복두께는 철근탐사기를 이용하여 피복두께를 확인 후, 설계피복과 비교하여 작은 값으로 선정하였다.



【사진 3.4.2】 탄산화 깊이 시험 현장사진

1) 탄산화 깊이 측정결과

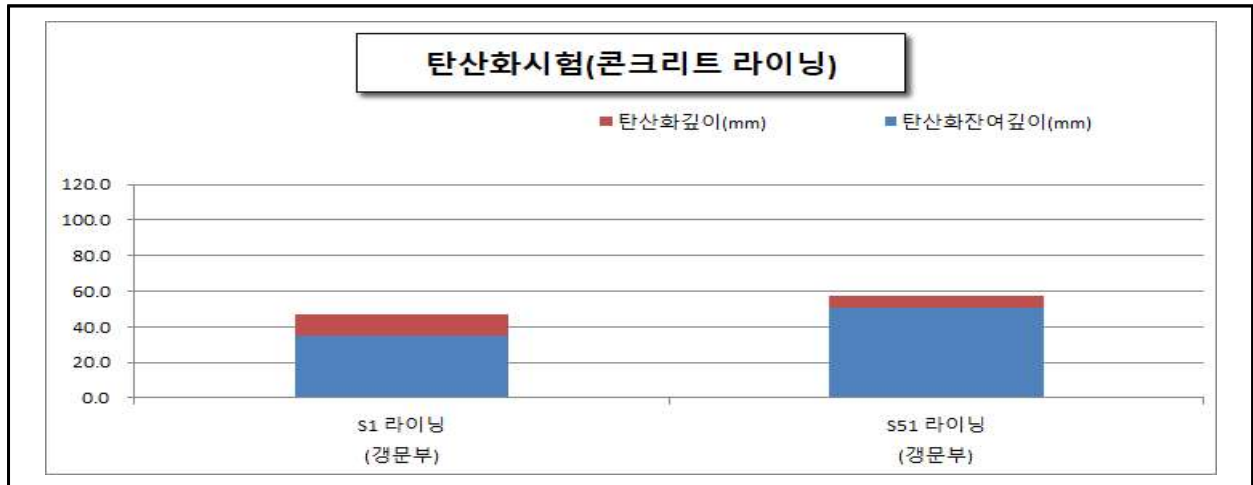
【표 3.4.6】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		탄산화 깊이 (mm)	실측 피복두께 (mm)	경과년수	탄산화 잔여깊이 (mm)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
라이닝	S1 (갯문부)	12.0	47.0	22	35.0	a	2.35	100년 이상	a등급
	S51 (갯문부)	6.0	51.0	22	51.5	a	1.18	100년 이상	a등급

- 탄산화 깊이 측정결과, 탄산화깊이는 6.0~12.0mm로 측정되었으며, 잔여깊이를 30mm이상을 확보하고, 세부지침 지침기준 "a"로 평가 되어 탄산화에 따른 철근의 부식발생 영향은 없는 것으로 판단된다.

【표 3.4.7】 탄산화 깊이 시험결과 분석

구 분	탄산화 깊이(mm)			잔여깊이(mm)			비고
라이닝	6.0	~	12.0	35.0	~	51.5	



【그림 3.4.3】 탄산화 깊이 시험 시험결과 그래프

2) 기 점검결과와의 비교

【표 3.4.8】 기 점검결과와의 비교

구 분	2020년 성능평가		2025년 성능평가		비 고
	잔여깊이(mm)	평가결과	잔여깊이(mm)	평가결과	
라이닝	34.7 ~ 54.7	a	35.0 ~ 51.5	a	
검토의견	■ 기존 및 금회 측정값 비교 분석 결과, 실측피복두께를 적용하여 다소 차이는 있지만, 잔여깊이가 30mm 이상 확보하는 것으로 분석되어 탄산화에 진행에 따른 구조물의 내구성에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단된다.				

3) 탄산화 깊이 시험 보고서

【표 3.4.9】 탄산화 깊이 시험 보고서

구 분	내 용
시험일자	2025년 04월 09일
시험시간	09:00 ~ 17:00
시험 영역의 위치	콘크리트 라이닝 (철근콘크리트 구조물)
골재 종류	보통골재(추정)
측정면의 종류	햄머드릴을 이용해 뚫어낸 면
시약	페놀프탈레인 1% 용액
측정 기구	햄머드릴, 버니어 캘리퍼스, 시험지
시약 분무로부터 탄산화 깊이까지의 시간	즉시
측정결과(측정값, 평균값, 최대값 등)	보고서 '콘크리트 탄산화 깊이 측정' 참조
연한 적자색 변색 유무	유

다. 염화물 침투량 시험

염화물 침투량 시험은 철근탐사시험을 통해서 주철근의 피복두께를 확인하고 시험부재의 철근 깊이까지 깊이별로 시료를 채취하여 시험을 실시하였다.



【사진 3.4.3】 염화물 침투량 시험 현장사진

1) 염화물 침투량 시험 결과

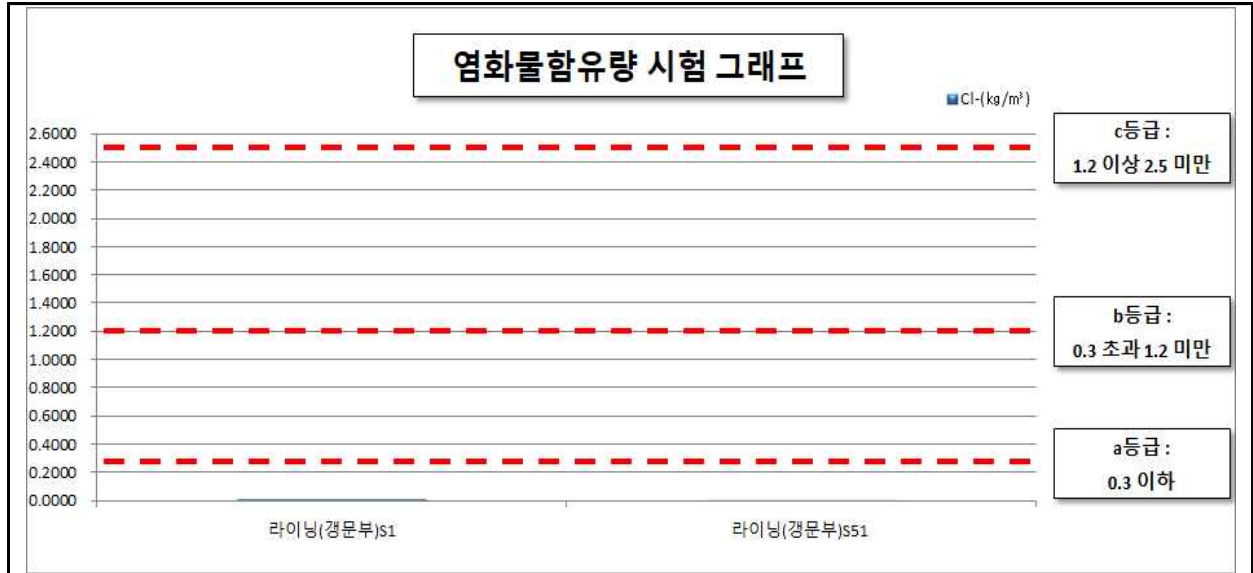
【표 3.4.10】 염화물 침투량 시험 결과

위치		깊이 (mm)	염화물 침투량		등급	염화물 함유량 평가 기준
			Cl- (%)	Cl- (kg/m³)		
라이닝 (갯문부)	S1	0~20	0.0010	0.023	a	판정결과 a : 염화물 ≤ 0.3 b : 0.3 < 염화물 < 1.2 c : 1.2 ≤ 염화물 < 2.5 d : 염화물 ≥ 2.5 e : -
		20~40	0.0008	0.018	a	
		40~철근	0.0006	0.014	a	
라이닝 (갯문부)	S51	0~20	0.0004	0.009	a	
		20~40	0.0002	0.005	a	
		40~철근	0.0002	0.005	a	

- 염화물 침투량은 측정 전 개소에서 0.3kg/m³ 이하로서 상태평가기준 ‘a’ 로 평가되었으며, 염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단된다.

【표 3.4.11】 염화물 침투량 시험 결과 분석

구 분	라이닝(갱문부 및 갱구부)	비고
염화물 함유량(kg/m³)	0.005 ~ 0.014	



【그림 3.4.4】 염화물 침투량 시험 시험결과 그래프

2) 기 점검결과와의 비교

【표 3.4.12】 기 점검결과와의 비교

구 분	2020년 성능평가	2025년 성능평가	비 고
염화물 함유량(kg/m³)	0.355 ~ 0.561	0.005 ~ 0.014	
검토의견	■ 기존 및 금회 측정값 비교 분석 결과, 염화물 함유량의 차이는 깊이에 따른 편차로 인해서 금회 시험값이 기존보다 낮게 나온 것으로 판단된다. 또한, 염화물 함유량은 측정 전 개소에서 0.3kg/m³ 이하로서 상태평가기준 ‘a’로 평가되었으며, 염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단된다.		

3) 염화물 침투량 시험결과 평가

- 염화물 침투량 시험결과 평가의 경우 ‘내구성능 평가’ 항목에 수록하였다.

4) 염화물침투량 시험 보고서

【표 3.4.13】 염화물 침투량 시험 보고서

구 분		내 용	
시 험 조 건	시험일시	2024년 04월 09일	
	시험시간	09:00 ~ 17:00	
	시험 영역의 위치	라이닝(철근콘크리트 구조물)	
조 사 수 량		라이닝(갱문부)	2개소
구조물 경과연수		경과연수 : 22년	
측정면 종류		기건 상태의 건전한 콘크리트 면 (그라인딩을 통해 요철 제거, 평탄 작업 실시)	
사용 골재의 종류		보통골재	
시험방법		시험부재의 철근깊이까지 10~20mm 단위로 깊이별로 구분하여 KS F 2713의 산-가용성 염화물시험 방법으로 실시	
시험 성과표 참조			

3.4.3 콘크리트 내구성 조사 결과요약

【표 3.4.14】금회 진단 내구성 조사 결과요약

시험명	시험부위		시험 결과		검토 의견
비파괴 강도 (MPa)	반발경도 라이닝 (설계기준 : 24MPa)		29.1	~ 30.3	측정결과, 설계기준강도를 100% 상회하는 것으로 확인됨.
탄산화 깊이 (mm)	라이닝 (갯문부 및 갯구부)	진행깊이(mm)	6.0	~ 12.0	실측 피복두께 대비 탄산화 잔여 깊이가 30mm 이상으로 측정되어 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 없는 'a' 등급으로 평가됨
		잔여깊이(mm)	35.0	~ 51.5	
염화물 함유량시험 (kg/m ³)	라이닝 (갯문부 및 갯구부)		0.005	~ 0.014	'a' 등급으로 평가되어 염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨

【표 3.4.15】내구성조사 기 점검과의 비교 결과요약

시험명	시험부위	2020년 성능평가	2025년 성능평가	비고
비파괴 강도 (MPa)	라이닝 (설계기준: 24MPa)	22.7 ~ 26.9	29.1 ~ 30.3	추정식, 측정 위치에 따른 편차로 인해 정밀한 비교가 어려우나 설계강도를 100% 상회하고 있는 것으로 확인되어 콘크리트의 강도상태는 전반적으로 양호한 것으로 판단됨
탄산화 깊이 (mm)	라이닝 잔여깊이	34.7 ~ 54.7	35.0 ~ 51.5	측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 급격한 진전은 없는 양호한 상태로 확인되며, 탄산화 진행으로 인한 철근부식의 영향은 없는 것으로 판단됨
염화물 함유량 시험 (kg/m ³)	라이닝 (갯문부 및 갯구부)	0.355 ~ 0.561	0.005 ~ 0.014	측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 급격한 진전은 없으며, 염화물에 의한 철근부식의 영향가능성은 낮은 것으로 판단됨

3.5 안전성능 평가

시설물의 상태안전성능 평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2024. 12.)』의 상태안전성능평가 기준에 따라 실시한다.

3.5.1 상태안전성능 평가

상태안전성능 평가 기준은 시설물의 전체 부재에 대하여 외관조사망도를 작성하여 부재별로 상세히 상태안전성능 평가를 실시하며, 책임기술자가 시설물 전체에 대한 상태안전성능 평가 결과를 결정하게 된다.

가. 구간분할

안전점검 및 성능평가를 위한 외관조사, 각종 내구성조사, 시설물의 상태안전성능 평가 등을 효과적으로 수행하기 위해서는 구조형식별 분류 또는 구간분할 작업은 필수적인 항목이다. 본 시설물은 NATM형식의 터널로 시공되었으며, 개착구간, 굴착구간(무근), 부대시설물에 대한 상태안전성능 평가를 진행하였으며, 구조물의 상태안전성능 평가 등급 산정을 위한 구간분할 현황은 다음과 같다.



【사진 3.5.1】 측점분할 현장사진

【표 3.5.1】 구간현황

구분	쉬트 (Sheet)	스판 (Span)	거리 (m)	누적 (m)	구분	쉬트 (Sheet)	스판 (Span)	거리 (m)	누적 (m)
개착구간	Sh1	S1	7.5	7.5	무근구간	Sh11	S29	8.5	253.0
무근구간	Sh2	S2	9.0	16.5			S30	9.0	262.0
		S3	9.0	25.5			S31	8.5	270.5
		S4	9.0	34.5		Sh12	S32	9.0	279.5
	Sh3	S5	8.5	43.0			S33	9.0	288.5
		S6	9.0	52.0			S34	8.5	297.0
		S7	8.5	60.5		Sh13	S35	8.5	305.5
	Sh4	S8	9.0	69.5			S36	9.0	314.5
		S9	9.0	78.5			S37	9.0	323.5
		S10	9.0	87.5		Sh14	S38	8.5	332.0
	Sh5	S11	8.5	96.0			S39	9.0	341.0
		S12	8.5	104.5			S40	9.0	350.0
		S13	9.0	113.5		Sh15	S41	9.0	359.0
	Sh6	S14	9.0	122.5			S42	8.5	367.5
		S15	8.5	131.0			S43	9.0	376.5
		S16	9.0	140.0		Sh16	S44	8.5	385.0
	Sh7	S17	8.5	148.5			S45	9.0	394.0
		S18	8.5	157.0			S46	9.0	403.0
		S19	8.5	165.5		Sh17	S47	9.0	412.0
	Sh8	S20	9.0	174.5			S48	9.0	421.0
		S21	9.0	183.5	Sh18	S49	9.0	430.0	
		S22	8.5	192.0		S50	9.0	439.0	
	Sh9	S23	8.5	200.5	개착구간	Sh19	S51	7.0	446.0
		S24	9.0	209.5	-				
		S25	9.0	218.5					
	Sh10	S26	9.0	227.5					
		S27	8.5	236.0					
		S28	8.5	244.5					

※ 철근, 무근구간 분할은 자료미비로 전차자료를 참고하였음

3.5.2 기본시설물 및 주변상태의 상태안전성능 등급산정

1) 개착구간 라이닝 상태안전성능 평가 등급산정

【표 3.5.2】 개착구간 라이닝 등급 산정 결과

Sheet No.	형식	연장 (m)	균 열		누 수		파손 및 손상		박 리		충분리, 박락		재료 분리		철근 노출		결함점수 합 계	라 이 닝 결함지수
			균열폭 (mm)						깊이 (mm)		깊이 (mm)		면적율 (%)		면적율 (%)			
Sh1	개착	7.5	0	0/a	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	0.00	0.00
Sh19	개착	7.0	0.2	4/b	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	4.00	0.07
산술평균		14.5	2.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		2.00	0.03

2) NATM터널(무근) 라이닝 상태안전성능 평가 등급산정

【표 3.5.3】 NATM(무근) 라이닝 등급 산정 결과

Sheet No.	형식	연장 (m)	균 열		누 수		파손 및 손상		박 리		충분리, 박락		재료 분리		철근 노출		결함점수 합 계	라 이 닝 결함지수
			균열폭 (mm)						깊이 (mm)		깊이 (mm)		면적율 (%)		면적율 (%)			
Sh2	무근	27.0	0.2	4/b	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	-	+	4.00	0.08
Sh3	무근	26.0	0	0/a	없음	0/a	0.1	2/b	0	0/a	20	2/c	0	0/a	-	+	4.00	0.08
Sh4	무근	27.0	0.3	4/b	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	-	+	4.00	0.08
Sh5	무근	26.0	0.3	4/b	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	-	+	4.00	0.08
Sh6	무근	26.5	0.3	4/b	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	20	2/c	0	0/a	-	+	6.00	0.12
Sh7	무근	25.5	0.3	4/b	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	-	+	4.00	0.08
Sh8	무근	26.5	0.3	4/b	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	20	2/c	0	0/a	-	+	6.00	0.12
Sh9	무근	26.5	0.2	4/b	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	-	+	4.00	0.08
Sh10	무근	26.0	0.2	4/b	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	20	2/c	0	0/a	-	+	6.00	0.12
Sh11	무근	26.0	0	0/a	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	20	2/c	0	0/a	-	+	2.00	0.04
Sh12	무근	26.5	0	0/a	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	-	+	0.00	0.00
Sh13	무근	26.5	0.1	0/a	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	-	+	0.00	0.00
Sh14	무근	26.5	0.3	4/b	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	-	+	4.00	0.08
Sh15	무근	26.5	0	0/a	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	-	+	0.00	0.00
Sh16	무근	26.5	0.2	4/b	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	-	+	4.00	0.08
Sh17	무근	18.0	0.3	4/b	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	0	0/a	-	+	4.00	0.08
Sh18	무근	18.0	0	0/a	없음	0/a	0	0/a	0	0/a	20	2/c	0	0/a	-	+	2.00	0.04
산술평균		431.5	2.59		0.00		0.12		0.00		0.71		0.00		-		3.41	0.07

3) 개착구간 주변상태 결함점수 산정

【표 3.5.4】 개착구간 주변상태 결함점수 산정 결과

Sheet No.	내공단면 변형여부	배수상태	공동구 상태	지반상태	배면공동 유무	특수조건	결함점수 합계	주변상태
Sh1	0	2	1	0	0	0	3.00	0.07
Sh19	0	2	1	0	0	0	3.00	0.07
산술평균	0.00	2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.07

4) NATM터널(무근)구간 주변상태 결함점수 산정

【표 3.5.5】 NATM(무근)구간 주변상태 결함점수 산정 결과

Sheet No.	내공단면 변형여부	배수상태	공동구 상태	지반상태	배면공동 유무	특수조건	결함점수 합계	주변상태
Sh2	0	2	1	0	0	0	3.00	0.06
Sh3	0	2	1	0	0	0	3.00	0.06
Sh4	0	2	1	0	0	0	3.00	0.06
Sh5	0	2	1	0	0	0	3.00	0.06
Sh6	0	2	1	0	0	0	3.00	0.06
Sh7	0	2	1	0	0	0	3.00	0.06
Sh8	0	2	1	0	0	0	3.00	0.06
Sh9	0	2	0	0	0	0	2.00	0.04
Sh10	0	2	1	0	0	0	3.00	0.06
Sh11	0	2	1	0	0	0	3.00	0.06
Sh12	0	2	0	0	0	0	2.00	0.04
Sh13	0	2	0	0	0	0	2.00	0.04
Sh14	0	2	0	0	0	0	2.00	0.04
Sh15	0	2	0	0	0	0	2.00	0.04
Sh16	0	2	1	0	0	0	3.00	0.06
Sh17	0	2	1	0	0	0	3.00	0.06
Sh18	0	2	0	0	0	0	2.00	0.04
산술평균	0.00	2.00	0.65	0.00	0.00	0.00	2.65	0.05

3.5.3 기본시설물 및 주변상태 상태안전성능 평가 결과

1) 개착구간 기본시설물 및 주변상태 상태안전성능 평가 결과

【표 3.5.6】 개착구간 기본시설물 및 주변상태 상태안전성능 평가 결과

구분	라이닝							터널주변						결합 점수 합계
	균열	누수	파손 및 손상	박리	충분 리 박락	재료 분리	철근 노출	내공단면 변형여부	배수 상태	공동구 상태	지반 상태	배면공동 유무	특수 조건	
결합 점수	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	5.00
결합 지수	$\text{기본시설물 결합지수}(f) = \frac{\sum \text{결합점수}}{\sum \text{가중치}} = \frac{5.00}{100} = 0.05$													
상태안전성능 평가등급														A

2) NATM(무근) 기본시설물 및 주변상태 상태안전성능 평가 결과

【표 3.5.7】 NATM(무근) 기본시설물 및 주변상태 상태안전성능 평가 결과

구분	라이닝							터널주변						결합 점수 합계
	균열	누수	파손 및 손상	박리	충분 리 박락	재료 분리	철근 노출	내공단면 변형여부	배수 상태	공동구 상태	지반 상태	배면공동 유무	특수 조건	
결합 점수	2.59	0.00	0.12	0.00	0.71	0.00	-	0.00	2.00	0.65	0.00	0.00	0.00	6.06
결합 지수	$\text{기본시설물 결합지수}(f) = \frac{\sum \text{결합점수}}{\sum \text{가중치}} = \frac{6.06}{100} = 0.06$													
상태안전성능 평가등급														A

3) 터널 기본시설물 및 주변상태 상태안전성능 평가 결과

【표 3.5.8】 터널 기본시설물 및 주변상태 상태안전성능 평가 결과

시설물명	라이닝 결합점수		주변상태	결합지수	연장	연장별 가중치	기본시설물 결합지수(F)	상태안전성능 평가등급
부평터널(하)	개착구간	2.00	3.00	0.050	14.5	0.033	0.060	A
	NATM터 널(무근)	3.41	2.65	0.061	431.5	0.967		

3.5.4 부대시설 상태안전성능 평가 결과

부평터널(하)은 부대시설로 시·중점부 옹벽 2개소가 있으며, 그에 대한 결함지수 및 상태안전성능 평가 결과는 다음과 같다.

1) 시·중점부 옹벽

【표 3.5.9】 터널 부대시설 상태안전성능 평가 결과(옹벽)

항목	침하	활동	배수공상태	계획선형오차	파손및손상	균열	재료열화			백태	철근노출	세굴	주변영향인자				합수계 결점합	가위합수 평단결지	가위합수 평단평가 결과
							마모/ 침식	박리	박락 / 충분리				배수시설	사면조사					
														사면 구배	낙석 흔적	침출수			
옹벽 시점부	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	+	+	+	0.00	0.00	a
옹벽 중점부	0/a	0/a	0/b	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	0/a	+	+	+	0.00	0.00	a

2) 부대시설 상태안전성능 평가 결과

【표 3.5.10】 터널 부대시설 상태안전성능 평가 결과

구 분	개별 부대시설물 결함지수	전체 부대시설물 결함지수 (f)	부대시설물 가중치	가중치 결정
옹벽 시점부	0.00	0.00	$0 \leq f < 0.15$	1.0
옹벽 중점부	0.00			

※ 부대시설물의 결함지수 (f) = $\sum(f_n) / N$

3.5.5 전체시설물 상태안전성능 평가 결과

【표 3.5.11】 전체시설물 상태안전성능 등급 산정

시설물명	기본시설물 결함지수(F)	부대시설물 가중치(W)	결함지수(F)	상태안전성능 등급
부평터널(하)	0.060	1.00	0.060	A

3.5.6 공중이 이용하는 부위

과업대상시설물은 터널시설물로서 공중이 이용하는 부위는 도로포장, 환기구 등의 덮개가 시공되어 있으며, 도로부 신축이음부, 추락방지시설(난간, 점검로 등)은 해당사항이 없는 것으로 확인되었다.

1) 추락방지시설

해당사항 없음.

평가기준	구분
a	○손상 및 결함 등이 없는 최상의 상태
b	○추락방지시설에 경미한 결함 및 파손이 발생하였으나, 기능에는 문제가 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 상태
c	○추락방지시설에 결함 및 파손으로 인하여 기능에 일부 문제가 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태
d	○고정부 및 연결부 파손 등으로 인해 추락방지시설의 전도 및 이탈이 발생 할 수 있어 즉각적인 보수·보강이 필요한 상태
e	○추락방지시설의 전반적 기능저하로 사용자의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지해야 하는 상태

2) 도로포장

포장의 결함 및 파손이 미미하게 발생한 상태로 차량주행에 문제는 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태인 “b” 로 평가.

평가기준	구분
a	○포장상태가 최상으로 차량의 주행에 문제가 없는 상태
b	○포장의 결함 및 파손이 미미하게 발생한 상태로 차량주행에 문제는 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태
c	○포장 결함 및 파손이 차량에 직접적인 파손을 유발할 정도는 아니나 차량 운전자에게 불편감을 유발할 수 있어 간단한 보수가 필요한 상태
d	○깊이 8cm이상의 포트홀에 의해 차량에 심각한 손상이 발생할 수 있어 즉각적인 보수가 필요한 상태 ○배수불량으로 인한 주행차로 상시 물고임으로 통행차량의 안전성 저하가 우려되는 상태
e	○도로포장 결함 및 파손 정도가 심각하고 차량주행이 불가하여 차량통행 제한 및 사용금지가 필요한 상태

3) 도로부 신축이음부

해당사항 없음.

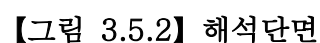
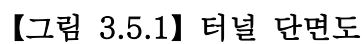
평가기준	구분
a	○ 신축이음부에 손상이 없는 상태
b	○ 신축이음 본체의 토사 및 이물질 퇴적, 고무판 노후, 후타재의 미세균열이 발생된 상태로 기능발휘에는 지장이 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태
c	○ 신축이음 본체의 유간사이 이물질로 기능불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화가 발생한 상태 또는 후타재의 균열이 50cm이하의 간격으로 발생하거나, 국부적인 박리, 박락, 파손이 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태
d	○ 신축유간 밀착으로 인한 거동불량 또는 신축유간이 넓어 차량통행에 지장을 초래할 수 있어 교체가 필요한 상태 ○ 신축이음의 파손 상태가 심각하여 차량통행 시 충격이 발생하는 등 긴급한 보수·보강이 필요한 상태
e	○ 신축이음부 본체 탈락으로 차량주행 시 파손을 유발하거나, 주행 중 사고의 원인이 될 수 있는 상태

4) 환기구 등의 덮개

덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없고 기능성에 문제가 없는 상태인 “b” 로 평가.

평가기준	구분
a	○ 환기구 등의 덮개가 최상의 상태
b	○ 덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없고 기능성에 문제가 없는 상태 ○ 기능성에 문제가 없어 결함 및 파손에 대해 지속적 관찰이 필요한 상태
c	○ 덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능에 일부 문제가 발생하여 보수가 필요한 상태
d	○ 덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능이 상실되어 국부적인 교체 및 보강이 필요한 상태
e	○ 결함 및 파손 정도가 심각하거나 덮개 등이 탈락된 상태

1) 단면제원



2) 하중산정

㉠ 자중

콘크리트 라이닝의 자중을 부재 두께를 고려하여 프로그램에서 계산한다.

㉡ 이완하중

- 암반이완하중 $H_p = 0.4 \times (B+H_t)$ 적용

$$H_p = 0.4 \times (12.430 + 8.000) = 8.172 \text{ m}$$

- 작용하중 $8.172 \times 22.0 = 179.784 \text{ kN/m}^2$

㉢ 잔류수압

$$(8.172 - 4.000) \times 22.00 + 4.000 \times (22.00 - 10.00) = 139.784 \text{ kN/m}^2$$

㉣ 온도하중

- 계절별 온도차 적용 : 단면두께 70cm이상 : $\pm 10^\circ \text{ C}$

- 내외면의 온도차 적용 : $\pm 5^\circ \text{ C}$

3) 사용프로그램

국내에서 가장 많이 사용되고 있는 토목구조물 범용구조해석 프로그램인 MIDAS CIVIL을 사용하여 구조물의 단면력 및 변위를 산출한다.

4) 하중조합

㉠ 계수하중

【표 3.5.12】 계수하중

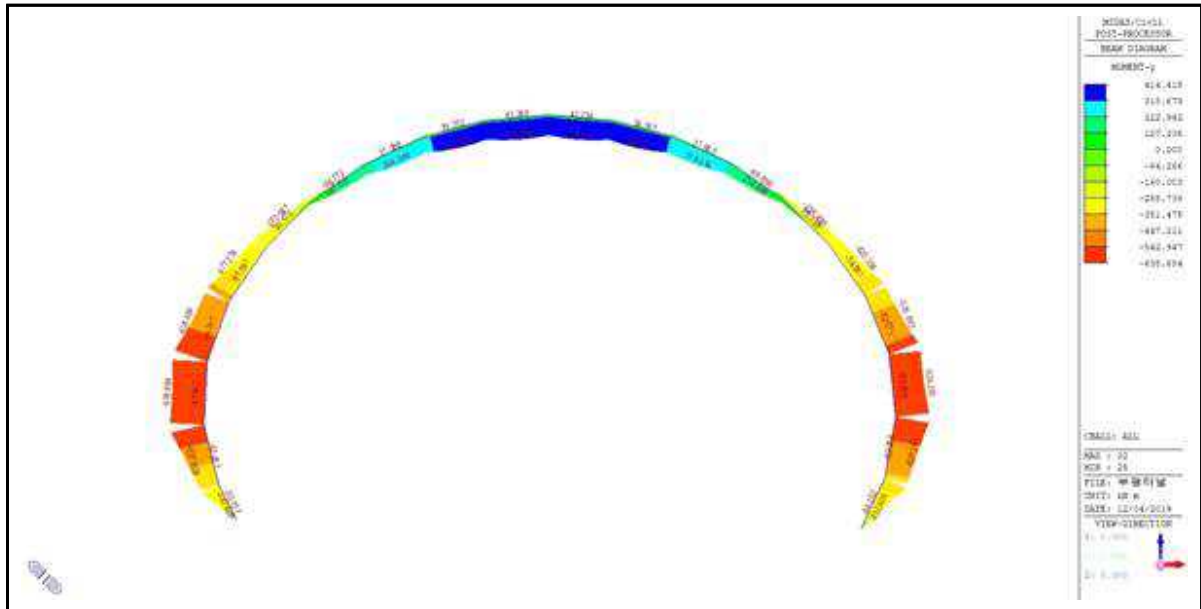
구분	자중	이완하중	잔류수압	온도하중			
				계절별		내외면	
				+15	-15	+5	-5
CB1	1.40						
CB2	1.20	1.60	1.60	1.20		1.20	
CB3	0.90	1.60	1.60		1.20		1.20
CB4	0.90	1.60	1.60	1.20		1.20	
CB5	0.90	1.60	1.60		1.20		1.20

【표 3.5.13】 사용하중

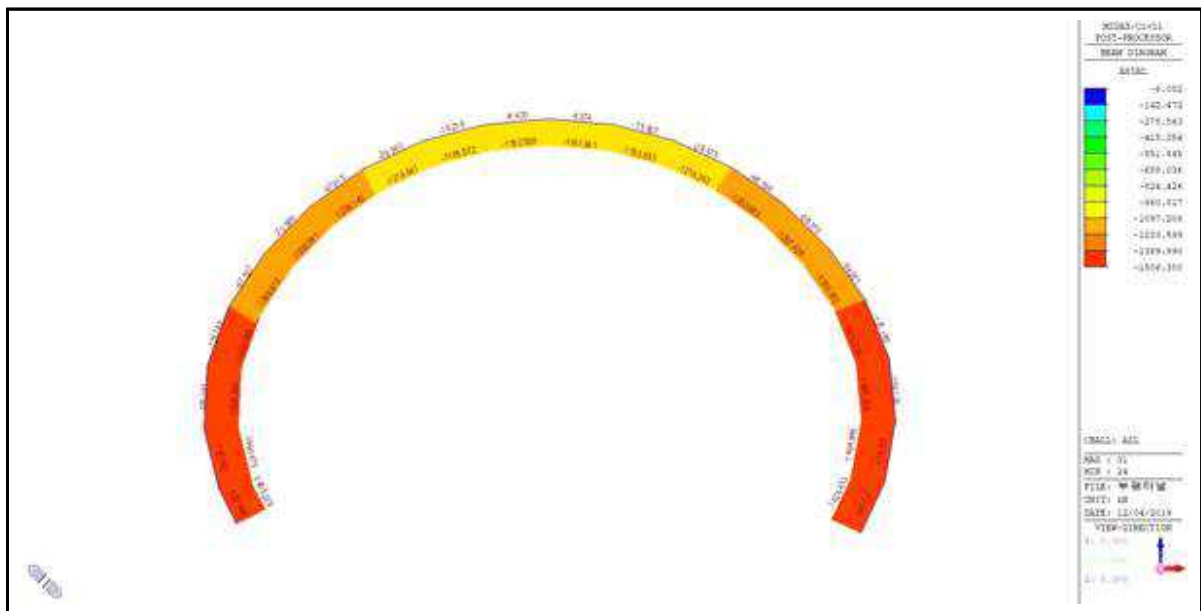
구분	자중	이완하중	잔류수압	온도하중			
				계절별		내외면	
				+15	-15	+5	-5
CB6	1.00	1.00	1.00		1.00		1.00

나. 구조해석 결과

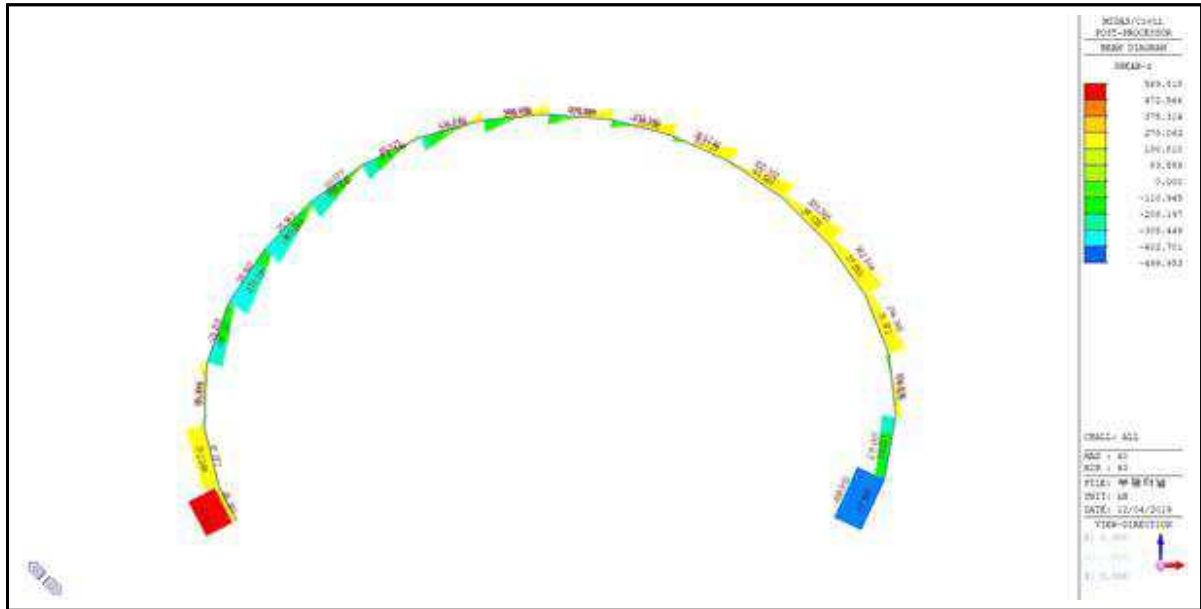
외력에 의해 라이닝에 발생된 단면력은 다음과 같다.



【그림 3.5.3】 휨모멘트도



【그림 3.5.4】 축력도



【그림 3.5.5】 전단력도

【표 3.5.14】 발생력 집계표

구분		모멘트 (kN.m)	축력 (kN)	전단력 (kN)	비고
라이닝	모멘트 최대시	638.684	1,484.355	569.818	
	축력 최대시	627.628	1,506.380	—	

다. 응력검토

구조해석결과인 라이닝에 발생된 단면력을 기초로 하여 라이닝에 발생된 압축응력 및 전단응력을 계산하였으며, 재료의 허용응력과 비(안전율)을 산정하였다.

【표 3.5.15】 응력검토 결과

구분		압축응력 (kN.m)	안전율	전단응력 (kN.m)	안전율
라이닝	모멘트 최대시	1,938.480	3.03	935.998	1.64
	축력 최대시	1,912.086	3.04	936.952	1.64

라이닝에 작용하는 외력에 의해 라이닝에 발생되는 응력은 콘크리트의 압축 및 전단 허용응력을 초과하지 않으며 라이닝의 안전율 1.0 이상 확보하고 있다.

라. 구조안전성능 평가 결과 산정

【표 3.5.16】 구조안전성능 평가 결과표

구조안전성능 평가 결과산정 표			
시설물명	부평터널(하)		표번호
부재구분	안전율(SF)	평가결과	비고
콘크리트라이닝 전단응력	1.64	a	
콘크리트라이닝 압축응력	3.03	a	
구조안전성능평가 결과	◦ 최저 안전성능평가 결과 = A, 결함지수 = 0.14		

3.5.8 안전성능평가 결과

평가대상에 대하여 상태안전성능 및 구조안전성능을 실시한 후 그 결과에 의해 산출된 상태안전성능지수와 구조안전성능지수를 비교하여 작은 값을 최종 안전성능지수로 결정하여 터널의 안전성능 결과를 결정한다.

터널의 구조안전성능 평가지수 = $\text{Min}(\text{상태안전성능등급}, \text{구조안전성능등급})$

【표 3.5.17】 안전성능평가 결과

시설물 안전성평가 결과 산정표				
시설물명	부평터널(하)		표번호	【표 3.5.17】
평가구분	결함지수	평가결과	비고	
상태안전성능 평가	0.060	A	근거 표	【표 3.5.11】
구조안전성능 평가	0.14	A	근거 표	【표 3.5.16】
안전성평가 결과	■ 안전성능평가 결과 = A ■ 안전성능 평가지수(ps) = 0.14			

3.6 내구성능 평가

3.6.1 내구성능 평가 개요

콘크리트의 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전평가로는 탄산화 깊이, 염화물 함유량, 피복 콘크리트의 품질이며, 열화환경평가는 비래염분에 의한 염해환경 및 동결융해의 반복에 의한 동해환경이다.

콘크리트 내구성능 평가 결과 산정방법은 내구성능 평가 지표별 결과 중 가장 낮은 등급인 최저등급을 반영한다.

열화진전평가는 각 세부부재별로 정해진 시험수량과 개소에서 실시하며, 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 실시한다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용된다.

3.6.2 내구성능 평가

가. 열화환경 항목

1) 염해환경

(1) 해안거리에 따른 비래염분 염해환경

대상터널은 경기도 여주시 강천면 부평리에 위치하며, 서해안으로부터 약 88.7km 떨어진 위치에 시공된 것으로 확인되었다.

해안거리에 따른 비래염분 염해환경 평가결과, 서해안으로부터 터널까지의 거리가 300m를 초과하여 평가등급은 A등급으로 분석되었다.



【그림 3.6.1】 위치도

【표 3.6.1】 해안거리에 따른 비래염분 염해환경 평가결과

평가항목	해안	적용지역	해안으로부터 거리 X(m)	평가 등급
해안거리에 따른 비래염분 염해환경	서해안	그 외 지역	300초과	a등급

(2) 제설제 염해환경

강설일수는 기상청 기후자료를 참조하였으며, 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소인 이천 관측소에서 측정된 최근 10년간 데이터를 활용하여 평가하였다. 최근에 측정된 최심신적설 자료 중 2015년부터 2024년까지의 자료를 참조하였으며, 연평균 강설 일수는 0일로 확인되었고, 평가등급은 A등급으로 분석되었다.

【표 2.6.2】 제설제 염해환경 평가결과(연평균 강설일수)

해당지역	경기도 여주시 강천면 부평리				
분석기간	2015년 11월 1일 ~ 2025년 3월 31일 (10년)				
2015.11~2016.3	0일	2019.11~2020.3	0일	2022.11~2023.3	0일
2016.11~2017.3	0일	2020.11~2021.3	0일	2023.11~2024.3	0일
2017.11~2018.3	0일	2021.11~2022.3	0일	2024.11~2025.3	0일
2018.11~2019.3	0일	평균 강설일수			0일

주) 강설일수는 최근 10년간 최심신적설이 발생한 일수의 연간 평균값, *참고 : 기상자료개방포털 (<https://data.kma.go.kr/>)

주) 이천 관측소 2015~2024년 동절기 최심신적설 자료는 0일로 부록에 첨부하지 않음

2) 동해환경 평가

동결융해 반복일수에 따른 동해환경 평가는 대상구조물의 가장 가까운 관측소인 이천 관측소에서 측정된 최근 10년간의 일 최고기온, 일 최저기온, 강수량 데이터를 수집하여 평가하였으며, 동해환경 평가는 다음과 같다.

- 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재일 경우

{일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃} & {강수량 > 0}인 연평균 일수

- 수분과 지속적으로 접촉하는 부재일 경우

{일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃}인 연평균 일수

수분과 미접촉하는 부재의 경우 13회, 수분과 직접 접촉하는 부재의 경우 75.9회로써 검토되었고, 이게 동결융해 환경 등급은 “B” 등급으로 평가되며, 수분과 직접 접촉하지 않는 부재라 하여도 동결융해 사이클이 연평균 13회로 동결융해의 피해를 입을 수 있음이 확인된다.

【표 2.6.3】 동해환경 평가결과 - 일반부재(수분접촉)

해당지역	경기도 여주시 강천면 부평리				
분석기간	2015년 11월 1일 ~ 2025년 3월 31일 (10년)				
2015.11~2016.3	71일	2019.11~2020.3	73일	2022.11~2023.3	68일
2016.11~2017.3	91일	2020.11~2021.3	59일	2023.11~2024.3	64일
2017.11~2018.3	81일	2021.11~2022.3	79일	2024.11~2025.3	84일
2018.11~2019.3	89일	동결융해 횟수 (수분접촉)			75.9회

【표 2.6.4】 동해환경 평가결과 - 일반부재(수분미접촉)

해당지역	경기도 여주시 강천면 부평리				
분석기간	2015년 11월 1일 ~ 2025년 3월 31일 (10년)				
2015.11~2016.3	16일	2019.11~2020.3	9일	2022.11~2023.3	12일
2016.11~2017.3	14일	2020.11~2021.3	13일	2023.11~2024.3	14일
2017.11~2018.3	21일	2021.11~2022.3	9일	2024.11~2025.3	16일
2018.11~2019.3	6일	동결융해 횟수 (수분미접촉)			13회

나. 열화진전 항목

1) 염화물 침투량

【표 3.6.5】 염화물 침투량 평가

열화진전 평가항목	세부 부재명		깊이별 염화물 침투량 (kg/m')			평가등급
			0~20mm	20~40mm	40mm~철근	
염화물 침투량	라이닝 (갯문부)	S1	0.023	0.018	0.014	a
		S51	0.009	0.005	0.005	a

【표 3.6.6】 염화물 확산계수 산출

계산항목	세부 부재명		깊이별 염화물 확산계수 (cm/year)		
			0~20mm	20~40mm	40mm~철근
염화물 확산계수	라이닝 (갯문부)	S1	—	—	0.114
		S51	—	—	0.088

【표 3.6.7】 철근부의 전염화물 침투량이 2.5(kg/m')가 되는 시점 평가

열화진전 평가항목	세부 부재명		계산결과(year)	평가등급
철근부 전염화물 침투량 C_r 가 2.5(kg/m')가 되는 시점	라이닝 (갯문부)	S1	20년 초과~30년미만	b
		S51	30년 초과	a

【표 3.6.8】 염화물 침투량 최종 평가등급

세부 부재명		염화물 침투량 평가 결과	철근부 전염화물 침투량 C_r 가 2.5(kg/m')가 되는 시점	염화물 침투량 최종 평가 등급
라이닝 (갯문부)	S1	a	b	b
	S51	a	a	a

2) 탄산화 깊이

【표 3.6.9】 탄산화 깊이 평가

열화진전 평가항목	세부 부재명	탄산화 깊이 (mm)	탄산화 속도계수	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T(년)	개별 평가등급	평가 등급
탄산화 깊이	S1 라이닝(갱문부)	12.0	2.35	100년 이상	a	a
	S51 라이닝(갱문부)	6.0	1.18	100년 이상	a	

3) 피복 콘크리트의 품질

【표 3.6.10】 피복 콘크리트의 품질 평가

열화진전 평가항목	세부 부재명		설계값 대비 강도추정값(%)	비건전부/ 건전부비율(%)	개별 평가등급 및 지수		산술평균	평가 등급
피복 콘크리트의 품질	라이닝	S1	121.3	—	a	0.08	0.08	a
		S29	—	95.4	a	0.08		
		S51	126.3	—	a	0.08		

3.6.3 내구성능 평가결과

【표 3.6.11】 대상터널 제원

시설물명		오천터널(하)
콘크리트		일반 RC
지역		여주시
공용연수		26년
연장		457m
피복 두께		60mm
위치	지역	경기도 여주시 강천면 부평리
	해안 이격거리	서해안 300m 초과

【표 3.6.12】 터널의 콘크리트 내구성능 평가

세부 부재명 (가중치, %)		항목별 평가결과					
부재명	가중치	염화물 침투량	탄산화 깊이	피복콘크리트 의 품질	부재평가결과		가중치 적용
					등급	지수	
라이닝	70 / 60	—	—	a	a	0.08	0.06
갯문	30 / 30	b	a	a	b	0.23	0.07
환기구 콘크리트	— / 10	—	—	—	—	—	0.00
		결함도지수	0.13				
		등급	A				

【표 3.6.13】 열화환경지표의 평가

열화환경지표		평가등급
제설제 염해환경		A
비래염분 염해환경	해안거리에 따른 비래염분 염해환경	A
동해환경		B

3.7 사용성능 평가

3.7.1 사용성능 평가 개요

터널의 사용성능 평가는 시설물의 예상수요를 고려하여 공용연수 동안 확보해야할 사용자 편의성 및 계획당시의 설계기준에 근거한 사용목적을 만족하기 위한 성능으로 정의한다.

시설물의 사용성능은 주행성과 기능성으로 구분되며, 주행성은 사용자의 편의를 도모하는 시설의 성능으로 시설물에 대한 이용자의 만족도로 평가하며, 기능성은 시설물이 계획 당시의 목적대로 서비스를 제공할 수 있는 역량과 이를 유지할 수 있는 조건의 충족여부로 평가한다.

각 성능별로 세부지표의 평가 결과를 가중치를 반영하여 최종 평가 등급으로 결정한다.

터널의 세부지표는 성능평가의 정의에 따라 주행성과 기능성으로 구분하고 해당 시설물의 특성을 반영하여 필요 성능을 도출한다.

터널에서는 서비스의 성능에 직접적인 영향을 미치는 시설물의 성능으로 사용자의 만족도 측면에서 주행성과 시설물의 기능유지 측면에서 유지관리성, 수요 및 용량을 선정한다.

3.7.2 사용성능 평가

가. 포장상태 평가

1) 일반도로 포장상태 지수(NHPCI) 산정

부평터널(하)은 콘크리트 포장으로 2021 도로포장관리시스템 자료를 활용하였으며, 포장상태(NHPCI)가 6.42로 분석되어 “a” 등급으로 평가되었다.

【표 3.7.1】 포장상태 평가결과

노선명	방향	포장형식	X _{CR} (%)	X _{RD} (mm)	X _{IRI} (m/km)	NHPCI	평가등급
일반국도 42호선	상행선	CP	9.45	3.37	1.24	6.42	a
평가결과	포장상태 조사 및 분석 보고서를 참고하여 NHPCI를 분석한 결과, 6.42 으로 산정되어 매우우수 등급인 a등급으로 평가되었다.						

상세구간 번호	연장 (km)	균열율 (%)	소성변형 (mm)	IRI (m/km)	처짐량 (mm)	포장 상태 등급 (VI)	총교통량 (대/일)	ESAL (대/일)
D2111C7=01	0.302	17.26	8.81	2.68	0.22	3	32,871	7,226
D2111C8=02	0.498	15.32	3.39	2.17	0.22	3	32,655	5,811
D2111D9=02	0.583	9.45	3.37	1.24	0.22	2	15,391	1,941
D2111D3=02	0.344	16.25	4.95	3.35	0.22	3	33,774	4,022

나. 터널 내 휘도

과업대상의 구조물은 편도 3차선으로 구성되어 있으며, 주간의 자동차 터널 도로의 경계부 및 기본부의 평균 휘도 KS C 3703을 참조하여 적용하였으며, 휘도 측정결과 해당 시설물의 평균 노면 휘도가 해당 설계속도 휘도평가 기준의 75%이상인 c등급으로 평가되었다.

【표 3.7.2】 터널 내 휘도 평가결과

시설물명	설계속도 (km)	방향	교통량	설계값(cd/m²)		실측값(cd/m²)		실측/설계 (%)		평가 등급	비고
				경계부	기본부	경계부	기본부	경계부	기본부		
부평터널(하)	80 km	남	217대/시간/차로 (적음)	150	6.5	124.6	5.6	83 (c)	86 (b)	c등급	
평가결과	휘도 측정결과 해당 시설물의 평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가기준의 75% 이상인 c등급으로 평가되었다.										

※ 교통량 산정 : 2024년 평균 일교통량 20,849대 ÷ 2(일방향) ÷ 24시간 ÷ 2(2차로) = 217대, 1,000미만~300초과로 적음에 해당

【표 3.7.3】 터널 내 휘도 성능평가결과

등급	등급기준
a	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가기준 보다 높은 상태
b	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가기준의 85% 이상
c	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가기준의 75% 이상
d	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가기준의 65% 이상
e	평균 노면 휘도가 해당 설계속도의 휘도평가기준의 65% 미만

다. 방재성

(1) 방재시설

본 부평터널(하)는 연장 457.0m로 연장등급 및 방재등급에 따라 해당터널의 적용등급은 4등급으로 검토하였다. 방재시설의 설치 기준을 검토한 결과는 다음과 같으며, ‘방재시설이 구비 또는 교체후 5년 이상이며 모두 양호한 상태’인 b등급으로 평가되었다.

【표 3.7.4】 방재시설의 설치기준

방재시설			터널등급	방재시설 설치 기준		방재시설 설치현황			평가 등급	
				4등급	설치기준	설치 유무	수리	교체		
소화 설비	소화기구		●	50m 이내		●	—	—	b	
	옥내소화전설비		해당없음	50m 이내		—	—	—		
	물분무설비		해당없음	방수구역 : 25~50m		—	—	—		
정보 설비	비상경보설비		해당없음	50m 이내		—	—	—		
	자동화재탐지설비		해당없음	환기방식별 필요인식 범위		—	—	—		
	비상방송설비		해당없음	50m 이내		—	—	—		
	긴급전화		해당없음	250m 이내		—	—	—		
	CCTV		△	터널 내 : 200~400m간격 터널 외 : 500m 이내		△	—	—		
	영상유고감지설비		해당없음	100m 간격		—	—	—		
	재방송설비		△	터널구간에서 청취가능		△	—	—		
	정보표시판		해당없음	터널전방 500m 이내		—	—	—		
	진입차단설비		해당없음	터널전방 500m 이내		—	—	—		
피난 대피 설비	비상조명등		△	야간 점등회로를 병용하여 설치		△	—	—		
	유도등		해당없음	대피시설 부근 측벽에 약 50m 간격		—	—	—		
	대피 시설	피난연결통로		해당없음	250~300m 이내		—	—		—
		피난대피터널(1)		해당없음	—		—	—		—
		격벽분리형 피난대피통로(1)		해당없음	—		—	—		—
		비상주차대		해당없음	750m 이내		—	—		—
소화 활동 설비	제연설비		해당없음	환기설비와 병용		—	—	—		
	무선통신보조설비		△	재방송설비와 병용할 수 있음		△	—	—		
	연결송수관설비		해당없음	50m 이내		—	—	—		
	(비상)콘센트설비		해당없음	50m 이내		—	—	—		
비상전 원설비	무정전전원설비		△	시설법 설치		△	—	—		
	비상발전설비		해당없음	별도로 구획된 실내 또는 함체에 설치		—	—	—		
평가등급						a	b	a		

【표 3.7.5】방재시설의 성능평가 결과

평가 기준	평가내용		평가 결과
	설치 유무	설치상태	
a	방재시설이 설치기준에 따라 설치되었을 때	방재시설이 구비 또는 교체후 5년 이내 이며 모두 양호한 상태	
b	방재시설이 설치기준의 90% 이상 설치되어 있을 때	방재시설이 구비 또는 교체후 5년 이상이며 모두 양호한 상태	
c	방재시설이 설치기준의 80% 이상 설치되어 있을 때	설치된 방재시설이 20% 미만의 수리 및 10% 미만의 교체가 필요 할 때	○
d	방재시설이 설치기준의 70% 이상 설치되어 있을 때	설치된 방재시설이 40% 미만의 수리 및 20% 미만의 교체가 필요 할 때	
e	방재시설이 설치기준의 70% 미만으로 설치되어 있을 때	설치된 방재시설이 40% 이상의 수리 및 20% 이상의 교체가 필요 할 때	

(2) 비상대피시간

본 부평터널(하)는 446m로 피난연락갱은 설치되어있지 않으며, ‘피난연락갱이 250m 이하 간격으로 설치됨, 또는 연장 500m 미만의 터널’ 인 a등급으로 평가되었다.

【표 3.7.6】비상대피시간의 성능평가 결과

등급	등급기준	평가 결과
a	피난연락갱이 250m 이하 간격으로 설치됨, 또는 연장 500m 미만의 터널	○
c	피난연락갱이 250m 초과와 간격으로 설치됨	
e	피난연락갱이 설치되어 있지 않음	

주) ‘도로 터널 방재시설 설치 및 관리지침(2019)’ 에서 터널연장이 1,200m 이하의 터널에서는 정량적 위험도 평가에 의해서 안전성 확보가 가능한 경우에는 최대 설치간격을 300m로 할 수 있음을 명시하고 있다. 따라서 비상대피에 대한 안전성이 확보된 연장 1200m 이하 터널은 피난 연락갱 간격이 300m 이하로 설치된 경우 a 등급으로 평가하며, 300 m 초과로 설치된 경우 c 등급으로 평가한다. 단, 피난연락갱이 설치되지 않은 경우 e 등급으로 평가한다.

라. 유지관리성

(1) 기계/전기설비

본 부평터널(하)의 기계/전기시설에 대한 성능평가 결과, ‘사용연수가 구비 또는 교체 후 3년 이상이며, 장치의 외관 및 작동에 불량인 없는 건전한 상태’인 b등급으로 평가되었다.

【표 3.7.7】 기계/전기설비의 평가 결과

구분	구성	평가결과	등급점수	합계	계별 설비등급	평가등급
수변전설비	수전설비	b	4	4.0	b	b
	변전설비	b	4			
경보설비	비상발전기	b	4	4.0	b	
	축전지설비	b	4			
	UPS	b	4			
감시제어설비	자동제어설비	b	4	4.0	b	
	현장기기	b	4			
환기동력설비	환기동력설비	b	4	4.0	b	
조명설비	유도등	b	4	4.0	b	

【표 3.7.8】 기계/전기설비의 성능평가 결과

등급	등급기준	평가결과
a	사용연수가 구비 또는 교체 후 3년 이내이며, 장치의 외관 및 작동에 불량인 없는 양호한 상태	
b	사용연수가 구비 또는 교체 후 3년 이상이며, 장치의 외관 및 작동에 불량인 없는 건전한 상태	○
c	불량이 경미하여 작동에 영향이 없는 상태	
d	상태 및 작동이 불량하여 수리가 필요한 상태	
e	상태가 불량하여 설비의 작동이 불가능한 상태로 교체가 필요한 상태	

마. 수요 및 용량

(1) 교통량

- 교량통 정보제공 시스템(TMS)을 활용하여 평가대상 교량 노선에 대한 일 교통량 분석 결과 일 교통량은 10,425대이다.
- 대상시설물의 2024년 수요예측 및 소요실제 교통량 조사 결과, 수요예측 교통량은 28,785대/일이며, 소요실제 교통량은 10,425대/일로 수요예측/수요실제의 비율이 100%이상으로 산정되어 a등급으로 평가되었다.

【표 1.7.9】 교통량의 성능평가 결과

구 분	수요예측(대/일) a	수요실제(대/일) b	대비(%) a/b*100	평가등급	비고
부평터널(하)	28,785	10,425	276.1	a등급	예측 :2024년 교통량 실제 :2024년 교통량

3.7.3 사용성능 평가결과

【표 3.7.10】 사용성능평가 결과

구분	특징	세부지표의 분류	가중치	평가결과	등급점수
사용성능	주행성	포장상태	0.182	a	5
		터널내 휘도	0.139	c	3
	방재성	방재시설	0.187	b	4
		비상대피시간	0.184	a	5
기능성	유지관리성	기계/전기설비	0.144	b	4
	수요 및 용량	교통량	0.164	a	5
				결합도점수	4.391
				등급	B

- 사용성능 최종 등급을 산정하면, $5 \times 0.182(\text{포장상태}) + 3 \times 0.139(\text{터널휘도}) + 4 \times 0.187(\text{방재시설}) + 5 \times 0.184(\text{비상대피시간}) + 4 \times 0.144(\text{기계/전기설비}) + 5 \times 0.164(\text{교통량}) = 4.391$
- 이를 최종 등급 산정 표에 적용시켜 보면 본 터널의 사용성능 등급은 B등급으로 평가된다.

【표 3.7.11】 최종평가결과 점수

등급	설명	결과 점수	평가 결과
A	현재 수요 등을 만족하고 장래 수요 및 외부조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준	4.5 이상	
B	현재 수요 등을 만족하나 장래 수요 및 외부조건 변화 등에 대한 관찰 및 주의가 필요한 성능 수준	3.5~4.5	○
C	장래 수요 및 외부조건 변화에 대해 기능발휘 또는 사용상 편의에 일부 문제점이 있어 일부 개선이 필요한 성능 수준	2.5~3.5	
D	대부분의 기능이 요구되는 기능에 미치지 못하거나 운영 및 사용상 편의가 심각하게 우려되는 수준으로서 광범위한 부분에서 개선이 필요한 성능 수준	1.5~2.5	
E	기능 발휘 또는 사용상 편의를 기대할 수 없어 개선 또는 개량이 필요한 성능 수준	1.5 미만	

【표 3.7.12】 최종평가결과 점수

기준	A	B	C	D	E
사용성능 평가지수	0.08	0.23	0.43	0.65	0.88

3.8 종합성능평가

성능평가를 통해 실시 결과에 따라 결정된 안전성능, 내구성능, 사용성능 등급을 종합하여 종합성능등급을 결정하였다.

종합평가 및 종합성능등급의 산정 절차와 방법은 「세부지침」에 따르며, 최종적으로 안전성능, 내구성능, 사용성능 등급과 함께 종합성능등급의 결과를 작성하였다.

【표 3.8.1】 종합성능평가 결과 산정표

시설물 종합성능 평가 결과 산정표					
시설물명	부평터널(하)			표번호	【표 3.8.1】
평가구분	평가지수	평가결과	성능간 가중치(W_n)	비 고	
안전성능 평가	0.14	a	0.72	근거 표번호	【표 3.5.17】
내구성능 평가	0.13	a	0.18	근거 표번호	【표 3.6.12】
사용성능 평가	0.23	b	0.10	근거 표번호	【표 3.7.10】
종합평가 결과	- 터널의 종합 성능평가지수(P) $= \sum \text{평가지수}(p_n) \times \text{성능간 가중치}(W_n)$ $= 0.14 \times 0.72 + 0.13 \times 0.18 + 0.23 \times 0.10 = 0.147$ - 터널의 종합 성능평가지수(P) : 0.147 - 터널의 종합평가결과 : A				

【표 3.8.2】 종합성능평가 결과

종합성능등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	$0.00 \leq P < 0.15$	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	$0.15 \leq P < 0.30$	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	$0.30 \leq P < 0.55$	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	$0.55 \leq P < 0.75$	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수·보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	$0.75 \leq P$	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

3.9 유지관리 전략제안

3.9.1 성능목표 등급 산정

3.9.2 성능목표 등급 산정

【표 3.9.1】 등급점수 범위 및 대표점수

구분		A	B		C	D	E
			상B	하B			
도로 교량	점수	0.08	0.23		0.43	0.65	0.88
			0.18	0.27			
	범위	$0 \leq X < 0.15$	$0.15 \leq X < 0.23$	$0.23 \leq X < 0.30$	$0.30 \leq X < 0.55$	$0.55 \leq X < 0.75$	$0.75 \leq X$

【표 3.9.2】 평가지표별 가중치 및 성능목표 등급산정 방법

구분	사용성 및 기능성 (1)	주변 환경			지진 구역계수 (5)	공용 연수 (6)
		동해환경 (2)	해안 이격거리 (3)	강설일수 (4)		
가중치	0.8	0.1			0.08	0.02
성능목표 = (1)×0.8 + [{(2)+(3)+(4)} / 3]×0.1 + (5)×0.08 + (6)×0.02						

【표 3.9.3】 사용성 및 기능성 성능목표 선정

구분	기준	평가터널	평가등급
일교통량	10,000 대/일 이상	10,425 대/일	하B
대상교량의 차단 시 우회거리	5km 이상	4.5km	

【표 3.9.4】 주변환경 성능목표 선정

구분	평가교량			평가등급	
동해환경	지속적인 수분접촉		75.9일	A	C
	지속적인 수분접촉 없음		13.0일	C	
해안이격거리	서해안	그 외 지역	300 초과	C	
강설일수	0일			C	

【표 3.9.5】지진구역계수 및 공용연수

구분	평가교량	평가등급
지진구역계수	경기도	A
공용연수	26년	C

【표 3.9.6】성능목표 등급 산정표

구분	사용성 및 기능성 (1)	주변 환경			지진 구역계수 (5)	공용 연수 (6)
		동해환경 (2)	해안 이격거리 (3)	강설일수 (4)		
평가등급	하B	C	C	C	A	C
평가점수	0.27	0.43	0.43	0.43	0.08	0.43
가중치	0.8	0.1			0.08	0.02
성능목표	= 0.27×0.8 + [{0.43+0.43+0.43}/3]×0.1 + 0.08×0.08 + 0.43×0.02 = 0.274(하B)					

3.9.3 성능평가 실시결과 검토·분석

안전성능평가 결과		내구성능평가 결과		사용성능평가 결과	
■ 상태안전성능 평가결과 → A등급(0.060) ■ 구조안전성능 평가결과 → A등급(0.14)		■ 내구성능 평가결과 → A등급(0.13)		■ 사용성능 평가결과 → B등급(0.23)	
종합평가		A등급(0.147)			
성능목표		B등급($0.23 \leq X < 0.30$)			
분석결과		■ 성능평가 실시 결과, 안전성능 평가 A등급, 내구성능 평가 A등급, 사용성능평가 B등급으로 분석되어 최종 종합평가 등급은 A등급으로 판정되었다. ■ 이는 시설물의 성능평가 목표치를 상회하는 상태로 분석되었다. ■ 발생한 손상 중 긴급보수를 요하는 손상은 발생하지 않았으며, 발생한 손상은 보수를 시행토록하고, 그 외 손상은 주기적인 점검을 통한 관리로 보수를 시행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.			

3.9.4 성능목표에 따른 보수·보강 방법 및 전략제안

가. 보수 개략공사비

【표 3.9.7】 손상별 보수·보강 방안 및 개략공사비

구 분	손상내용	보수방안	손상물량	보수물량	단위	단가 (천원)	개략공사비 (천원)	우선 순위
천장부	균열(0.3mm미만)	표면처리	23.40	8.78	m	299	2,625	3순위
	균열(0.3mm이상)	주입보수	12.00	18.00	m	103	1,854	2순위
	보수부 재균열(0.3mm미만)	표면처리	34.50	12.94	m²	299	3,869	3순위
	보수부 재균열(0.3mm이상)	주입보수	81.50	122.25	m²	103	12,592	2순위
	들뜸	단면보수	0.08	0.12	m²	1,152	138	2순위
	박락	단면보수	0.07	0.11	m²	1,152	127	2순위
공동구	들뜸	단면보수	50.45	75.68	m²	1,152	87,183	2순위
	박락 및 철근노출	단면보수(방청)	0.64	0.96	m²	1,336	1,283	2순위
	덮개 파손	정비(재설치)	11.00	16.50	EA	30	495	3순위
배수 시설	배수구 토사퇴적	정비(청소)	459.00	688.50	m	8	5,508	3순위
	배수로 덮개 파손	정비(재설치)	6.00	9.00	EA	30	270	3순위
포장부	포장 파손	단면보수	8.10	12.15	m²	1,152	13,997	3순위
	포장 앵커 돌출	정비(제거)	43.00	64.50	EA	20	1,290	3순위
사면	배수로 균열	주입보수	4.00	4.00	m	103	412	3순위
	배수로 파손	단면보수	3.40	3.40	m³	1,152	3,917	3순위
	배수로 철근노출	단면보수(방청)	0.05	0.08	m²	1,336	107	3순위
	배수로 이물질퇴적	정비(청소)	60.00	60.00	m	7	420	3순위
	낙석 위험	낙석방지망	1.00	12.00	m²	100	1,200	3순위
	낙석방지망 파손	낙석방지망	8.00					
개략 공사비 (천원)	구 분	1순위		2순위		3순위		
	순공사비	-		104,377		34,110		
	재경비 (순공사비의 50%)	-		52,189		17,055		
	합계	-		156,566		51,165		
개략공사비 총계(천원)		205,931						

주1) 보수물량은 손상물량에 50%를 할증하였음.

주2) 0.3mm미만 균열보수는 손상물량(m)×0.25(m)를 하여 면적(m²)으로 산출하였음.

주3) 상기 개략공사비는 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건 상 변동될 수 있음.

나. 성능을 고려한 보수 우선순위

【표 3.9.8】우선순위지수 산정

구분		손상 물량 (㎡)	보수 물량 (㎡)	단가 (천원)	비용 Cost (천원)	손상정보				가중치				우선 순위 지수 (PI)	순 위
						손상 내용	부재 위치	성 능	등 급	손 상	부 재	성 능	등 급		
철 근	표면처리	1.00	0.38	299	112	균열 (0.3mm미만)	라이닝	안전 성능	b	1.00	0.16	0.72	0.11	0.01267	5
	정비 등	-	-	-	-	배수상태	터널주변	안전 성능	b	1.00	0.06	0.72	0.11	0.00475	13
	정비 등	-	-	-	-	공동구상태	터널주변	안전 성능	b	1.00	0.02	0.72	0.11	0.00158	16
무 근	표면처리	22.40	8.40	299	2,512	균열 (0.3mm미만)	라이닝	안전 성능	b	1.00	0.16	0.72	0.11	0.01267	5
	주입보수	1.50	2.25	103	232	균열 (0.3mm이상)	라이닝	안전 성능	b	1.00	0.16	0.72	0.11	0.01267	5
	표면처리	0.03	0.01	299	3	보수부재균열 (0.3mm미만)	라이닝	안전 성능	b	1.00	0.16	0.72	0.11	0.01267	5
	주입보수	0.04	0.06	103	6	보수부재균열 (0.3mm이상)	라이닝	안전 성능	b	1.00	0.16	0.72	0.11	0.01267	5
	단면보수	0.03	0.05	1,152	52	들뜸	라이닝	안전 성능	b	1.00	0.05	0.72	0.11	0.00396	14
	단면보수	0.03	0.05	1,152	52	박락	라이닝	안전 성능	b	1.00	0.05	0.72	0.11	0.00396	14
	단면보수	0.04	0.06	1,152	69	파손	라이닝	안전 성능	b	1.00	0.09	0.72	0.11	0.00713	9
	정비 등	-	-	-	-	배수상태	터널주변	안전 성능	b	1.00	0.07	0.72	0.11	0.00554	12
	정비 등	-	-	-	-	공동구상태	터널주변	안전 성능	b	1.00	0.03	0.72	0.11	0.00238	15
-	-	-	-	-	-	염화물	갯문	내구 성능	b	1.00	0.30	0.72	0.11	0.02376	4
	-	-	-	-	-	탄산화	갯문	내구 성능	a	1.00	0.30	0.72	0.05	0.01080	8
	-	-	-	-	-	파복콘크리트의 품질	라이닝	내구 성능	a	1.00	0.70	0.72	0.05	0.02520	3
	-	-	-	-	-	파복콘크리트의 품질	라이닝	내구 성능	a	1.00	0.30	0.72	0.05	0.01080	8
	-	-	-	-	-	포장상태	-	사용 성능	c	1.00	0.18	0.72	0.20	0.02621	2
	-	-	-	-	-	터널내화도	-	사용 성능	b	1.00	0.14	0.72	0.11	0.01101	7
	-	-	-	-	-	방재 시설	-	사용 성능	c	1.00	0.19	0.72	0.20	0.02693	1
	-	-	-	-	-	비상대피 시간	-	사용 성능	a	1.00	0.18	0.72	0.05	0.00662	10
	-	-	-	-	-	기계/전기 설비	-	사용 성능	b	1.00	0.14	0.72	0.11	0.01140	6
	-	-	-	-	-	통행량	-	사용 성능	a	1.00	0.16	0.72	0.05	0.00590	11
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

마. 유지관리 전략 제안

관리주체는 관할 내 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 주요손상을 포함하고 있다고 할 수는 없다. 그러므로 보수를 실시하고자 할 때 주요 손상에 대해 우선적으로 보수를 하고 순위별로 순차적으로 보수 조치를 취하도록 한다.

해당 터널은 종합성능평가 결과가 A등급(0.147)으로, 성능목표인 B등급($0.23 \leq X < 0.30$)을 상회하여 만족된 것으로 평가되었다. 터널의 내구연한 증진을 위하여 경제성을 고려한 우선순위를 대상으로 보수를 시행하고 지속적인 유지관리를 실시한다면 구조물의 사용성을 확보하는데 문제가 없을 것으로 사료된다.

3.10 종합결론

본 시설물인 부평터널(하)는 경기도 여주시 강천면 부평리(국도42호선)에 위치한 터널로 1999년 12월에 준공하여 약 26년간 공용중인 시설물이며, 해당 터널은 2중 시설물로서 연장 446.0m, 편도 2차로, 폭 9.3m, 주요공법은 NATM, 갯문 형식은 면벽식, 환기방식은 자연환기 방식으로 시공되어있다.

본 과업은 “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법” (이하 “시설물안전법” 이라 한다.)에 따른 성능평가를 시행하여 현장조사 및 각종시험에 의해 시설물의 성능을 종합적으로 평가하여 시설물의 객관적인 현재의 상태와 장래의 성능 변화를 파악·예측하고, 이를 통해 관리주체가 보수·개량·교체 등의 최적시기 결정 등 합리적 유지관리 전략을 마련하는 데에 있다.

3.10.1 종합결론

가. 현장조사 및 시험

1) 천장부

- 천장부에서 조사된 균열 및 보수부 재균열(0.3mm미만, 이상)의 경우 콘크리트 건조수축, 온도 변화, 거푸집 조기탈거, 라이닝 두께차이로 인한 응력 불균형, 보수미흡 등에 의해 발생한 비구조적인 손상으로 판단되며, 내구성 확보 차원에서 표면처리, 주입보수를 통한 유지관리가 요구된다.
- 들뜸, 박락의 경우 거푸집 조기탈거 및 이동시 충격, 라이닝 폼 유압재 압력의 응력불균형, 온도변화, 공용기간 증가 등의 복합적인 원인에 의한 손상으로 판단되며, 손상부 탈락에 의한 통행차량의 안전을 위협할 수 있으므로, 제거 후 단면보수 등의 조치가 필요하다.

2) 측벽부

- 측벽부에서 조사된 타일 균열/파손/탈락, 몰탈박락의 경우 라이닝 콘크리트 내부 균열에 의한 반사균열 및 장기공용에 따른 타일 몰탈 부착력 저하, 차량의 외부충격 등의 원인으로 발생한 손상으로 즉각적인 보수보다는 주의관찰을 실시하고, 추후 손상증가시 일괄적으로 보수 및 재시공을 하는 것이 유지관리에 유리할 것으로 판단된다.
- 파손의 경우 외부충격에 의한 손상으로 판단되며, 내구성 확보 차원에서 단면보수 등의 조치가 필요하다.

3) 갯문

- 갯문은 구조물의 안전을 저해할 만한 손상이 발생하지 않은 양호한 상태로 확인되었다.

4) 공동구

- 들뜸, 박락 및 철근노출, 덮개 파손의 경우, 거푸집 조기탈거 및 이동시 충격, 외부충격(차량), 동절기 제설제 등의 원인에 의한 손상으로 판단되며, 상기 손상부는 구조적인 영향을 미치는 손상은 아니나 진전 방지 및 구조물의 내구성 증진, 유지관리상 안전을 위한 단면보수 및 방청, 정비를 실시하는 유지관리가 필요하다.

5) 배수시설

- 배수시설에서 조사된 배수구 토사퇴적의 경우, 주행차량 통행에 의한 이물질퇴적, 비산먼지, 동절기 제설제 등에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 터널내 원활한 배수를 위해 정비, 청소를 실시하는 것이 요구된다.
- 배수로 덮개 파손은 주행차량의 윤하중, 외부충격, 동절기 제설제에 의한 열화 등에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 정비를 통한 유지관리가 요구된다.

6) 포장부

- 포장부에서 조사된 포장 망상균열, 접속부 망상균열, 파손의 경우 건조수축 및 중차량의 반복통행에 의한 진동 및 충격, 공용기간 증가, 제설제의 유입 등 복합적인 요인에 의한 것으로 판단되며, 균열은 경미한 편으로 주의관찰을 실시하고, 파손은 통행차량의 주행안전성, 포장의 내구성확보 차원에서 단면보수, 소파보수를 실시하는 유지관리가 요망된다.
- 포장 앵커 돌출의 경우 시공미흡 등에 의해 발생한 것으로 주행차량의 안전성 확보를 위해 앵커 제거를 통한 유지관리가 요구된다.

7) 사면

- 사면에서 조사된 배수로 균열, 파손, 철근노출은 건조수축, 온도변화, 시공미흡, 품질관리 미흡, 공용기간 증가 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 내구성 확보 차원에서 주입보수, 단면보수 및 방청을 통한 유지관리가 요구된다.
- 배수로 이물질퇴적은 공용기간 증가, 강우시 낙엽 등의 퇴적에 의해 발생한 것으로 판단되며, 원활한 배수기능 확보를 위해 정비, 청소를 통한 유지관리가 요구된다.
- 낙석방지망 파손 및 낙석위험부는 집중 강우, 풍화 등에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 우기시 집중강우 등에 의해 손상이 진전될 우려가 있으므로 주행차량의 안전사고 방지를 위해 낙석방지망 설치를 통한 유지관리가 요구된다.

8) 옹벽

- 용벽에 조사된 실란트 탈락 및 이격, 조인트 식생은 공용기간 증가, 온도변화, 외기노출 등에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 요구된다.

9) 부속시설

- 부속시설은 전반적으로 양호한 상태로 조사되었으며, 공용기간 경과시 손상의 추가 발생여부에 대한 유지관리가 요구된다.

10) 공중이 이용하는 부위

(1) 추락방지시설

- 공중이 이용하는 부위 중 추락방지시설은 미설치된 상태이다.

(2) 도로포장

- 공중이 이용하는 부위 중 도로포장은 “현장조사 결과 - 포장부”에 기입된 사항으로 대체하였다.

(3) 도로부 신축이음부

- 공중이 이용하는 부위 중 도로부 신축이음부는 미설치된 상태이다.

(4) 환기구 등의 덮개

- 공중이 이용하는 부위 중 환기구 등의 덮개는 “현장조사 결과 - 공동구”에 기입된 사항으로 대체하였다.

11) 내구성 조사

- 반발경도법에 의한 압축강도 측정결과 29.1~30.3MPa로 측정 되었으며, 금회 실시한 비파괴 강도는 모두 설계기준 압축강도(24.0MPa)를 상회하는 것으로 강도 저하가 없는 것으로 판단된다. 따라서, 금회 시험을 실시한 라이닝 콘크리트 강도는 공용년수 경과에 따른 강도 저하가 발생되지 않은 것으로 판단된다.
- 탄산화 깊이 측정결과, 탄산화깊이는 6.0~12.0mm로 측정되었으며, 잔여깊이를 30mm이상을 확보하고, 세부지침 지침기준 "a"로 평가 되어 탄산화에 따른 철근의 부식발생 영향은 없는 것으로 판단된다.
- 염화물 침투량은 측정 전 개소에서 0.3kg/m³ 이하로서 상태평가기준 ‘a’로 평가되었으며,

염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단된다.

3.10.2 종합성능평가 결과

【표 3.10.1】 종합성능평가 결과

시설물 종합성능 평가 결과 산정표					
시설물명	부평터널(하)			표번호	【표 3.10.1】
평가구분	평가지수	평가결과	성능간 가중치(W_n)	비 고	
안전성능 평가	0.14	a	0.72	근거 표번호	【표 3.5.17】
내구성능 평가	0.13	a	0.18	근거 표번호	【표 3.6.12】
사용성능 평가	0.23	b	0.10	근거 표번호	【표 3.7.10】
종합평가 결과	- 터널의 종합 성능평가지수(P) $= \sum \text{평가지수}(p_n) \times \text{성능간 가중치}(W_n)$ $= 0.14 \times 0.72 + 0.13 \times 0.18 + 0.23 \times 0.10 = 0.147$ - 터널의 종합 성능평가지수(P) : 0.147 - 터널의 종합평가결과 : A				

3.10.3 종합결론

- 부평터널(하)는 약 26년의 공용기간이 경과한 터널시설물로 외관조사결과 국부적으로 손상이 발생한 것으로 조사되었으나 대체로 양호한 상태를 유지하고 있으며, 금회 안전성능 평가 “A등급”, 내구성능 평가 “A등급”, 사용성능 평가 “B등급” 으로 평가되어 종합성능평가 등급이 “A등급” 으로 산정되었다.
- 성능평가지수가 20년 2중성능평가 0.178(B등급) ⇨ 25년 2중성능평가 0.147(A등급) 으로 등급이 상향된 것으로 분석되었다. 등급이 상향된 주요 원인으로는 안전성능평가 결과(b→ a 등급), 내구성능평가 결과(b→ a등급) 변동에 의한 것으로 측정위치에 따른 염화물 침투량 결과값 상이, 손상물량 보수 등이 원인이다.
- 종합성능평가를 실시한 결과, A등급(0.147)으로 평가되어 성능목표 등급인 B등급(결함도 범위 : $0.23 \leq X < 0.30$)을 상회한 상태이므로 성능을 고려한 보수 우선순위 정보를 활용하여 예산범위 내에서 적절한 보수공사가 지속적으로 시행된다면 성능목표 상태의 시설물 유지관리가 가능할 것으로 판단된다.

3.10.4 사용제한의 필요성 여부

- 내구성의 현저한 저하 또는 구조적 안전성에 문제가 될 만한 사항은 발생되지 않은 상태에서 시설물의 사용제한은 필요치 않은 것으로 검토되었다.

3.10.5 유지관리 시 특별한 관리가 요구되는 사항

- 오천터널(상)에 대한 성능평가결과 중점관리 사항은 아래와 같다.
 - ① 라이닝 균열 : 균열의 진전 및 추가발생 여부 확인
 - ② 라이닝 조인트부 들뜸 및 박락 : 탈락으로 인한 안전사고 우려
 - ③ 갯문옹벽 균열 : 주의관찰 및 손상 증대 여부 확인
 - ④ 공동구 덮개 파손 : 손상 진전으로 인한 이용자 안전사고 우려
 - ⑤ 포장부 파손 : 콘크리트 탈락으로 주행차량의 안전성 우려

3.10.6 기타 필요한 사항

- 시설물의 안전성 유지는 점검 당시에는 양호한 상태로 존재하여도, 이후의 유지관리 상태 및 예기치 않던 외적요인에 의해 잔존해 있던 위험요소가 일시적으로 노출되어 안전성에 영향을 미칠 수 있으므로 지속적인 점검 등의 유지관리를 통해 기능성과 안전성을 유지하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

